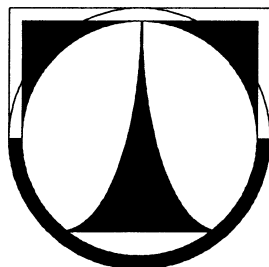


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra vozidel a motorů



**NÁVRH POHONNÉ JEDNOTKY HYBRIDNÍHO
MOTOCYKLU**

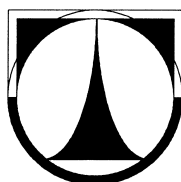
**PROPOSAL OF A HYBRID
MOTORCYCLE DRIVE UNIT**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Dalibor Muráň

Květen 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra vozidel a motorů



Obor 2302T010

Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

Kolové dopravní a manipulační stroje

**NÁVRH POHONNÉ JEDNOTKY
HYBRIDNÍHO MOTOCYKLU**

**PROPOSAL OF A HYBRID
MOTORCYCLE DRIVE UNIT**

Diplomová práce

KVM – DP – 625
Dalibor Muráň

Vedoucí diplomové práce:
Konzultant diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Elias Tomeh
Ing. Pavel Brabec, Ph.D.

Počet stran: 51
Počet obrázků: 36
Počet příloh: 1
Počet výkresů: 3

Květen 2011



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Dalibor M U R Á Ň
studijní program	M2301 Strojní inženýrství
obor	2302T010 Konstrukce strojů a zařízení
zaměření	Kolové dopravní a manipulační stroje

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

NÁVRH POHONNÉ JEDNOTKY HYBRIDNÍHO MOTOCYKLU

Zásady pro vypracování:

Konstrukční a výpočtové práce zaměřené na ideální návrh pohonné jednotky hybridního motocyklu a specifikaci elektrického zdroje vhodného pro tento druh pohonné jednotky.

- 1) Popište obecnou problematiku hybridních vozidel. Charakterizujte druhy (koncepce) zatím používaných hybridů.
- 2) Vytvořte návrhy možných variant koncepcí hnacího ústrojí hybridního motocyklu. Charakterizujte jejich výhody a nevýhody, zvolte neoptimálnější variantu pohonu. Blíže objasněte všechny provozní stavy – akumulace, rekuperace, spolupráce SM a EM.
- 3) Vhodně zvolte a podrobně popište jednotlivé použité komponenty (elektrický zdroj – baterie, výběr a specifikace elektromotoru, systém řízení pohonu atd.).
- 4) Pro vybranou variantu vytvořte konstrukční návrh zástavby motocyklu a jeho výkresovou dokumentaci.
- 5) Cílem diplomové práce je použitelnost výsledků v laboratoři KVM.

Forma zpracování diplomové práce:

Průvodní zpráva: cca 50 stran textu vč. příloh dílčích výsledků.

K tištěným svazkům originálu diplomové práce bude přiložena výkresová dokumentace.


Text celé diplomové práce včetně příloh a výkresů bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči ke svazku diplomové práce.

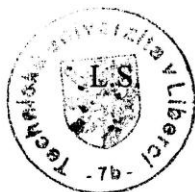
Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

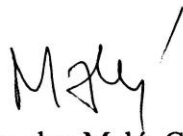
- [1] Časopisy a katalogy firem.
 - [2] VLK, F.: Teorie a konstrukce motocyklu, Nakladatelství a vydavatelství Brno 2004.
 - [3] VLK, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno, 2001.
 - [4] Fuhs Allen E.: Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation, 2009.
 - [5] Society of Automotive Engineers: Strategies in Electric and Hybrid Vehicle Design, 1996.
 - [6] Čundev Dobri: Control strategy of car hybrid system and its experimental confirmation, disertační práce, ČVUT 2009.
 - [7] Orendáš Pavel: Hybridní pohon osobního automobilu, diplomová práce, 2003.
 - [8] Lenděl Štěpán: Alternativní pohony automobilů, diplomová práce, 2000.
 - [9] JANSÁ, V. a kol.: Konstrukce motocyklů, Praha, SNTL 1960.
 - [10] Pavelka Vladek: Rekuperační systém se superkondenzátorem pro hybridní pohon, disertační práce, ČVUT 2006.
- www.auto.cz
www.hybrid.cz
www.howstuffworks.com
www.greencarcongress.com
<http://medias.ina.de/medias/en>

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Elias Tomeh – TU v Liberci - KVM

Konzultant diplomové práce: Ing. Pavel Brabec, Ph.D. – TU v Liberci - KVM


prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 1.11.2010

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SBZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

NÁVRH POHONNÉ JEDNOTKY HYBRIDNÍHO MOTOCYKLU

Anotace

Práce se zabývá rozbořem problematiky hybridního pohonu a výběrem vhodné varianty uspořádání. Její součástí je detailní popis vhodných komponentů, jejich výběr a vhodná zástavba. Dále jsou uvedeny potřebné výpočty pro určení hlavních parametrů pohonu. Závěr práce obsahuje srovnání s motocyklem klasické konstrukce.

Klíčová slova: hybridní pohon, hybridní motocykl, rekuperace energie, komponenty hybridního pohonu

PROPOSAL OF A HYBRID MOTORCYCLE DRIVE UNIT

Annotation

The work analysis the issue of the hybrid drive and the choice of a suitable arrangement. It contains a detailed description of appropriate components, their choice and adequate usage. All necessary calculations determining the main drive parameters are stated in the work. The conclusion compares a hybrid motorcycle with a classic one.

Key words: hybrid drive, hybrid motorcycle, energy recuperation, hybrid drive components

Desetinné třídění:

Zpracovatel:

Dokončeno :

Archivní označení zprávy:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

2011

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V LIBERCI... dne 17.5.2011


Dalibor Muráň

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce doc. Dr. Ing. Eliasu Tomehovi a Ing. Pavlu Brabcovi, Ph.D. za pomoc v otázkách vypracování práce a mnohé připomínky a poznámky k jejímu obsahu.

Také bych chtěl poděkovat panu Zdeňkovi Kotrbovi z firmy MZK servis za pomoc ohledně problematiky elektromotorů a baterií a jejich správného sestavení. Dále děkuji své rodině a přátelům za jejich podporu.

Diplomová práce vznikla v rámci projektu studentské grantové soutěže 2826/115.

Seznam použitých zkratk:

PAL	palivová nádrž
SM	spalovací motor
G	generátor
AK	akumulátor energie
EM	elektromotor
K	hnací kolo
°P	stupňová převodovka
PP	planetová převodovka
R	rozvodovka
ŘJ	řídící jednotka

Seznam použitých veličin:

P	výkon	[kW]
Mk	krouticí moment	[Nm]
AC	střídavé napětí	[V]
DC	stejnoseměrné napětí	[V]
m	hmotnost	[kg]
U	napětí	[V]
n	otáčky	[¹ /s]
J	moment setrvačnosti	[kgm ²]
F	frekvence	[Hz]
I	proud	[A]
η	účinnost	[%]
V	objem	[cm ³]
i	převodový poměr	[-]
F	síla	[kN, N]
g	gravitační zrychlení	[m ² /s]
v	rychlost	[km/h]
f	součinitel valivého tření	[-]
c _x	součinitel odporu vzduchu	[-]
S _x	velikost průmětu čelní plochy	[m ²]
ρ	hustota	[kg/m ³]
e _G	měrná energie paliva	[kW/l]
N	objem palivové nádrže	[l]
S	dojezd	[km]
s	měrný dojezd	[km/l]
E _E	energie baterie	[kWh]
E _G	energie paliva	[kWh]

Obsah

1. Úvod

1.1 Historie hybridního pohonu	11
1.2 Hybridní pohonné ústrojí	11
1.3 Důvod vzniku hybridního pohonu	12
1.4 Konkurenční stroje	13

2. Koncepce hybridního pohonu

2.1 Sériová koncepce	15
2.2 Paralelní koncepce	16
2.3 Kombinovaná koncepce	17
2.4 Analýza koncepcí	19
2.5 Výběr varianty	19

3. Jízdní stavy motocyklu

3.1 Procesy přeměny energie	20
3.2 Jízdní stavy	20

4. Výběr komponentů a jejich specifikace

4.1 Elektromotor	23
4.1.1 Možné varianty řešení	23
4.1.2 Výběr varianty	25
4.2 Alternátor	25
4.2.1 Výběr varianty	26
4.3 Baterie	26
4.3.1 Hlavní parametry	26
4.3.2 Druhy akumulátorů	27
4.3.3 Výběr vhodného akumulátoru	27
4.3.4 Výběr konkrétního výrobku	29
4.4 Řídicí jednotka	30
4.4.1 Výběr jednotky PCU	31
4.4.2 Výběr jednotky ECU	32
4.5 Spalovací motor	33
4.6 Duální systém	34
4.6.1 Výběr baterie 12 V	34
4.6.2 Schéma zapojení duálního systému	35
4.7 Planetová převodovka	35
4.7.1 Výběr planetové převodovky	36

5. Konstrukční část

5.1 Návrh a výpočet sekundárního převodu	37
5.1.1 Návrh řetězového převodu	37
5.1.2 Pevnostní kontrola řetězu	39
5.2 Určení jízdních stavů planetové převodovky	39
5.2.1 Planetová převodovka v režimu elektrického pohonu	39
5.2.2 Planetová převodovka v režimu kombinovaného pohonu	43
5.3 Uspořádání komponentů	47
5.4 Model hnacího ústrojí	47

6. Jízdní vlastnosti hybridního motocyklu

6.1 Určení výkonu hybridu pro jízdu po rovině	48
6.2 Teoretický dojezd motocyklu pro režim spalovacího motoru	49
6.3 Teoretický dojezd motocyklu pro režim elektropohonu	49
6.4 Režim dobíjení baterie spalovacím motorem	50
6.5 Očekávané výkonové parametry	50
6.6 Určení parametrů porovnávacího motocyklu Jawa	51
6.7 Teoretický dojezd hybridu	51
6.8 Vliv přidaných hmot komponentů na jízdní vlastnosti	51

7. Závěr

7.1 Rozdíl výkonových parametrů	55
7.2 Hmotnostní bilance	55
7.3 Ekonomická náročnost	56
7.4 Doslov	57

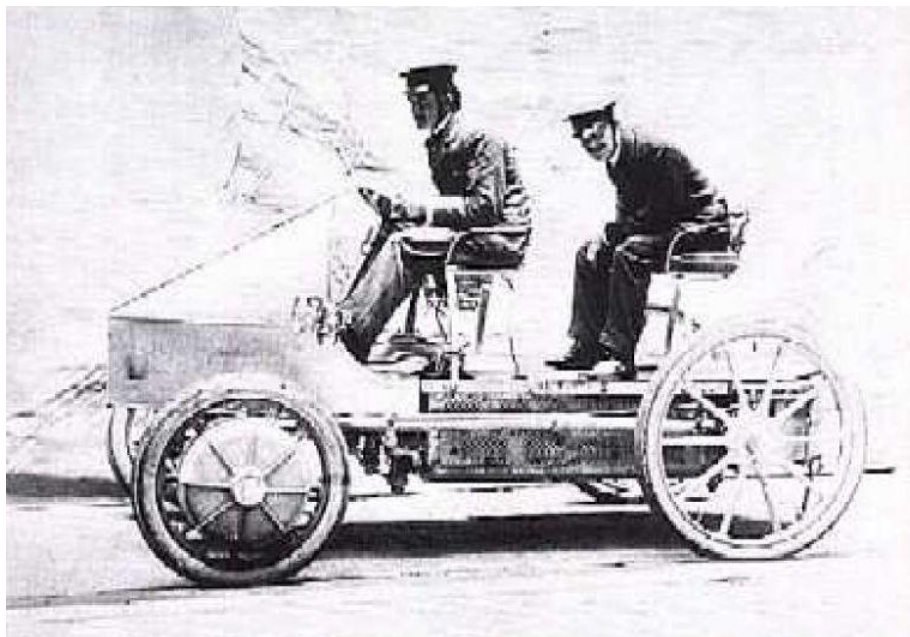
Seznam použité literatury

Výkresová dokumentace

1. Úvod

1.1 Historie hybridního pohonu

Myšlenka hybridního pohonu je už velmi stará. Prvním zaznamenaným vozem s kombinací dvou zdrojů energie byl již v roce 1899 Lohner-Porsche. Zde roztáčel spalovací motor generátor, který vyráběl elektrickou energii pro elektromotory v nábojích kol přední nápravy. Na počátku dvacátého století došlo v USA dokonce k tak vysoké produkci elektromobilů, že převýšila automobily se spalovacím motorem. Kritérii pro tento fakt byla spolehlivost, bezpečnost a tichost provozu. Pak ale nastal převrat po zavedení masově vyráběného Fordu T, který odsoudil myšlenku elektropohonu až na pozdější využití.



Obr.1 První historicky zaznamenaný hybridní vůz Lohner-Porsche /23/

V Evropě došlo koncem čtyřicátých let k prosazování elektropohonu automobilkou Citroen a později v letech osmdesátých koncernem PSA (Peugeot Citroen Asociaton) již ve větším počtu. V roce 1995 byla dokonce tímto koncernem spuštěna velkosériová výroba, která byla však o pět let později ukončena. U ostatních automobilek se v průběhu celého dvacátého století jednalo převážně pouze o výrobu prototypů, které nenašly větší využití.

Novou éru hybridních pohonů v kombinaci spalovacího a elektrického motoru započal v roce 1997 model Prius firmy Toyota, která je i dodnes nejúspěšnější automobilkou v oblasti hybridních technologií. Od té doby zaznamenal tento obor značný pokrok a v posledních letech má už každá větší automobilka vlastní hybridní automobil.

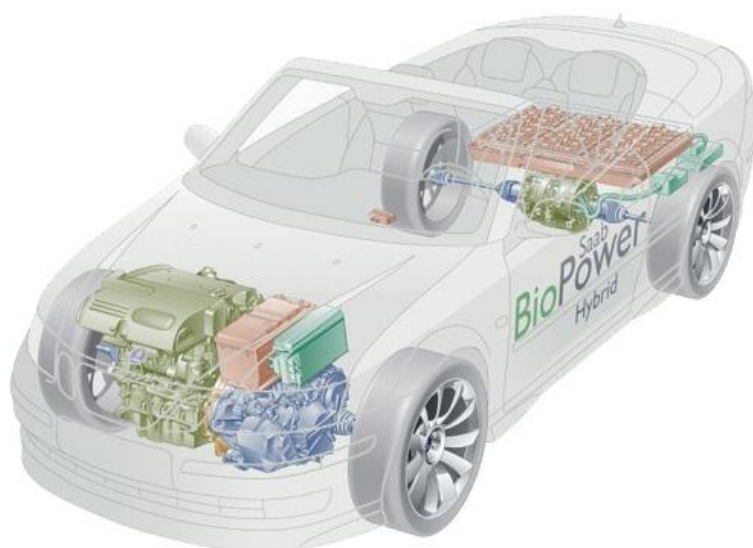
V Čechách je nejstarším počinem v oblasti elektromobilů patrně automobil Ing. Františka Křížika z roku 1895, později dokonce ve verzi s hybridním pohonem pro dosažení většího dojezdu vozidla. Následně docházelo v Čechách k vývojem různých prototypů elektromotorů a hybridních automobilů, ale žádný z těchto pokusů nepřekročil kusovou výrobu.

1.2 Hybridní pohonné ústrojí

Hybridním pohonem vozidla nazýváme druh pohonu, který využívá více druhů energie. Zpravidla jde o kombinaci tepelné energie spalovacího motoru a elektrické energie. Zdrojem

elektrické energie pak může být buď baterie dobíjená díky rekuperaci při brzdění, a nebo nabíjena přes klasickou zásuvku ze sítě.

Kombinace spalovacího motoru a elektromotoru v hybridním ústrojí spojuje výhody obou druhů pohonu. Tato oblíbená kombinace bývá v anglické literatuře popisována jako HEV – Hybrid Electric Vehicle.



Obr. 2 Hybridní vozidlo značky Saab

Vozidlo se *spalovacím motorem* má velký dojezd, který je limitován pouze jeho vlastní spotřebou paliva a objemem palivové nádrže. Výroba je v porovnání s vozidly s jiným pohonným ústrojím levná a jednoduchá. Nevýhodou je vcelku malá účinnost motoru, která je navíc závislá na jeho zatížení. Maximální hodnota účinnosti se u moderních motorů pohybuje kolem 35%, ale při použití vozidla v městském provozu klesá pod 10%. Při stání s nastartovaným motorem se dá účinnost přenosu energie z motoru na kola vozidla uvažovat jako nulová a i tak běžné vozidlo spaluje přibližně 1 litr paliva za hodinu. Množství nevyužitého paliva je pak ještě znatelnější u velkoobjemových motorů pro velká vozidla a stroje. Spalovací motor navíc produkuje velké plynné i hlukové emise.

Vozidlo poháněné *elektromotorem* je charakteristické vysokou účinností motoru dosahující až 90% a to v širokém spektru otáček. Splňuje požadavek nízkých plynných a hlukových emisí. Tichá jízda elektromobilu je ale často určitou nevýhodou na městských přechodech, kde chodci snadno přeslechnou přibližující se vozidlo. Elektromobily mají zpravidla stále malý dojezd, který závisí na kapacitě baterií. Velkou nevýhodou je vyšší pořizovací cena.

1.3 Důvod vzniku hybridního pohonu

V současnosti a blízké budoucnosti představují hybridní dopravní prostředky pouze zajímavou alternativu k daleko více využívaným spalovacím motorům. Celosvětové zásoby ropy ale nejsou neomezené, a proto je důležité hledat jiné alternativy zdrojů energie. Dalším problémem jsou i neustále se zvyšující nároky na ekologii provozu v oblasti plynných a hlukových emisí. Hybridní technologie pohonu jsou v obou těchto případech někde na půli cesty mezi spalovacími motory a elektromotory nebo využitím spalování alternativních paliv.

Hybridní technologie pohonu v současnosti ovlivňuje nejen osobní dopravu, ale začíná se prosazovat také v hromadné dopravě jako zdroj energie pro lokomotivy a autobusy.

Důvodem vzniku a použití hybridního pohonného ústrojí jsou mnohé nesporné výhody:

- snížení spotřeby paliva a to hlavně v situacích, kdy má klasický spalovací motor nejmenší účinnost (městský provoz, popojíždění v dopravních zácpách)
- kombinace velkého dojezdu spalovacího motoru a nízké spotřeby elektromotoru
- zlepšení ekologie provozu a to jak plyných emisí, tak i emisí hlukových
- možnost využití elektrické energie z baterie na funkci příslušenství vozidla

1.4 Konkurenční stroje

Izh 2012 – koncept

Koncept Igora Chaka kombinuje spalovací plynový motor 140HP V-Twin a elektromotor s výkonem 60kW ukrytý v náboji zadního kola. Navíc zapojuje do klasické myšlenky hybridních technologií pohonu i veliký informační dotykový 3D displej a systém pro hlídání slepých úhlů. Displej zobrazuje vše potřebné ohledně stavu technického motocyklu i situace na silnici.



HV-X Yamaha

Firma Yamaha se v oboru hybridních motocyklů začíná dostávat na první příčku, stejně jako Toyota u hybridních automobilů. Na MotoAutoShow v Tokiu v roce 2009 bylo od této značky představeno hned 5 hybridních modelů motocyklů. Model HV-X je zatím pravděpodobně nejperspektivnějším ze všech takto zaměřených modelů značky. Maloobjemový motor v kombinaci



s automatickou převodovkou a dobrým podvozkem prý odvádí výkony srovnatelné se sportovně založenými modely. Pohonné ústrojí obsahuje spalovací plynový motor a elektromotor. Jako akumulátor je použita lithium-ionová baterie, díky které bylo nutné zmenšit objem palivové nádrže.

Orange Country Choppers Hybrid Motorcycle

Oproti ostatním konkurentům z řady hybridních motocyklů se tato americká značka vydala úplně jinou cestou. O rozdílech v pohonném ústrojí napovídá na první pohled pouze dotykový displej o úhlopříčce 5,7 palce na palivové nádrži. Pohonnou jednotku tvoří spalovací motor S&S o objemu 250cm³ s úhlem válců 45° a dvojice elektromotorů, každý s výkonem 36kW a krouticím momentem 164Nm. Dohromady pak dávají se spalovacím motorem neuvěřitelných 442Nm krouticího momentu. Energie je ukládána a odebírána z lithium-ionových baterií.



Napěťové obvody fungují na velikosti 12 VDC, 24 VDC, 48 VDC a 130 VAC. Celková hmotnost motocyklu je 395kg.

Kiva CAF-E

Koncept společnosti Kiva kombinuje dvojité přepínávaný dvouválcový spalovací motor a elektrický motor, beroucí energii s lithiem-ionových baterií. Přenos výkonu od obou motorů zajišťuje automatická převodovka s podobným principem, jako tomu je u vozidel značky Toyota. Jejím základem je planetová převodovka, která dokáže na základě povelů řídicí jednotky plynule měnit otáčky mezi spalovacím motorem, generátorem a elektromotorem. Tento motocykl by se měl při hromadné výrobě dostat na cenu průměrného Harley-Davidson.



Peugeot HYmotion

Model HYmotion není úplně klasickým motocyklem, ale jde v podstatě o tříkolku. Každé z dvou předních kol je poháněno vlastním elektromotorem, a nebo obě dohromady spalovacím plynovým motorem o objemu 125cm³. Obě přední kola se při průjezdu zatáčkou naklápějí, aby byly lépe vyrovnány boční síly. Další zajímavostí je střecha, která jezdce kryje před proudem vzduchu nebo třeba před deštěm při špatném počasí. HYmotion může tak být dobrým kompromisem mezi městským automobilem a motocyklem.



2. Koncepce hybridního pohonu

Rozdělení podle míry využití sekundárního zdroje pohonu:

Micro hybrid – zdroj elektrické energie slouží pouze k pohonu různých příslušenství, jde o historicky nejstarší variantu hybridního pohonu s výkonem stroje do 3kW a napěťovou úrovní systému 14V, elektrický stroj a spalovací motor jsou spojeny klínovým řemenem

Mild hybrid – sekundární zdroj umožňuje rekuperaci energie a zvyšuje výkon pohonného ústrojí, výkon elektrického stroje je běžně do 10kW, elektrický stroj a spalovací motor jsou spojeny buď klínovým řemenem, nebo víceřadým řetězem

Full hybrid – primární i sekundární zdroj energie jsou využívány k pohonu vozidla a to buď dohromady nebo nezávisle každý zvlášť, výkon elektrického stroje nad 10kW

Plug-in hybrid

Moderní alternativou pro klasické koncepce hybridního pohonu jsou tzv. plug-in hybridy (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle). Ty se totiž dají dobít přímo ze zásuvky, stejným

způsobem, jakým nabíjíme např. mobilní telefony. Představují tak určitý mezistupeň mezi klasickými hybridy a elektromobily.

Jejich výhodou je v porovnání s ostatními hybridy dlouhý dojezd a možnost dobíjení baterie ze sítě, kdykoliv je tomu třeba. Elektrická energie je využívána hlavně v městských aglomeracích, čímž se snižuje spotřeba paliva a tím tedy i výfukové emise. Přestože ale tato technologie právě zažívá ve světě automobilů a motocyklů velkou progresi, z pohledu ekologie zatím vážně pokulhává.

V dnešní době se většina elektrické energie stále vyrábí v elektrárnách spalováním fosilních paliv. Tyto elektrárny přitom produkují mnohonásobně větší množství škodlivých plynů než osobní doprava. Tato energie pak musí být pomocí elektrického vedení s určitou účinností dovedena až do sítě, ze které pak nabíjíme plug-in hybrid. Ve výsledku tedy dostáváme vozidlo přibližně se stejnou účinností, jako je tomu u spalovacího motoru.

V současnosti jsou plug-in hybridy velmi populární a to hlavně v případě menších vozidel. Problém ekologie většinu uživatelů momentálně příliš netrápí, a kdyby ano, nemusí baterii dobíjet ze sítě a mohou využívat pouze energii získanou rekuperací při jízdě.

Do výběru uvažovaných druhů koncepcí hybridního pohonu motocyklu jsem tuto skupinu nezavřel. Důvodem je špatná ekologie této varianty při jejím plném využívání. V případě potřeby není navíc problém tuto technologii zakomponovat do zvoleného typu koncepce.

2.1 Sériová koncepce

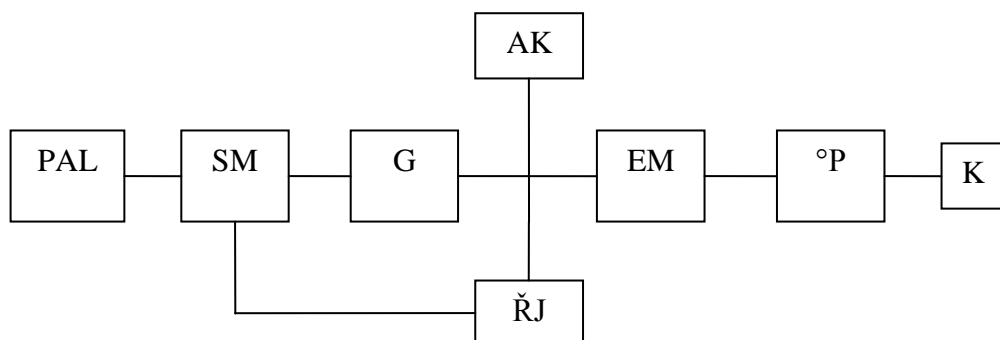
Spalovací motor pohání elektrický generátor, ten pak napájí trakční elektromotor a v případě dobíjení i baterii. Pohon zajišťuje pouze jeden elektrický stroj, který mění energii z alternátoru nebo baterie na energii mechanickou. Spalovací motor tedy nemá přímou vazbu na hnací kolo motocyklu a může tak pracovat v optimálním pásmu s maximální účinností. Proto jsou pro tento způsob voleny často motory menších objemů pracujících v úzkém pásmu otáček. Při rekuperačním brzdění dochází k dobíjení baterie a kvalita tohoto procesu závisí přímo na kvalitě použité baterie.

Výhody:

- možnost ideálního nastavení pracovního bodu spalovacího motoru pro jeho maximální účinnost

Nevýhody:

- dochází k velkým ztrátám energie vlivem přeměn energií v generátoru i elektromotoru
- neumožňuje jízdu pouze na elektrickou energii a ani nezávislou spolupráci spalovacího a elektrického motoru



Obr. 3 Sériová koncepce hybridního pohonu

Legenda: PAL ... palivová nádrž

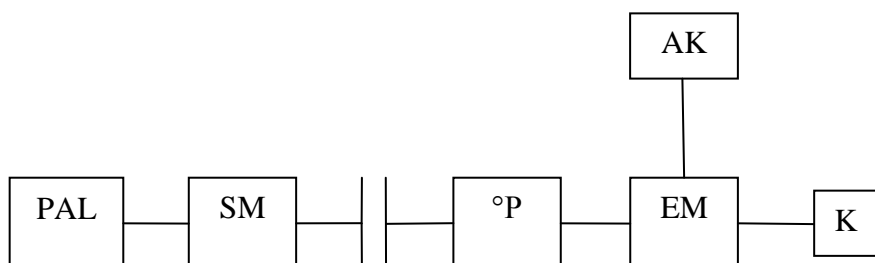
SM ... spalovací motor

<i>G ... generátor</i>	<i>AK ... akumulátor</i>
<i>ŘJ ... řídicí jednotka</i>	<i>EM ... elektromotor</i>
<i>°P ... stupňová převodovka</i>	<i>K ... hnané kolo</i>

2.2 Paralelní koncepce – jednospojková, dvouspojková

Systém je oproti sériové koncepci doplněn o další elektrický stroj, který se nachází buď mezi motorem a převodovkou, a nebo je připojen na výstupní hřídel převodovky. Spalovací motor je při tomto způsobu zapojení přímo vázán na hnací kolo motocyklu a jeho pracovní bod lze tedy nastavit jen v určitých mezích. Systém je na rozdíl od sériového zapojení komplikovanější a představuje větší zásah do pohonného ústrojí. Systém lze realizovat také pomocí využití přenosu energie pomocí hydraulických prvků – hydraulický akumulátor energie a hydrostatický motor (návrh firmy Voith).

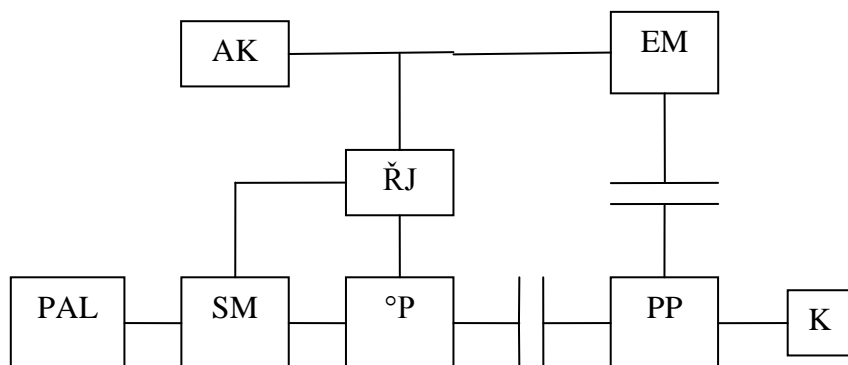
Jednospojková



Obr. 4 Paralelní jednospojková koncepce hybridního pohonu

Legenda: PAL ... palivová nádrž SM ... spalovací motor
°P ... stupňová převodovka AK ... akumulátor
EM ... elektromotor K ... hnané kolo

Dvouspojková



Obr. 5 Paralelní dvouspojková koncepce hybridního pohonu

Legenda: PAL ... palivová nádrž SM ... spalovací motor
AK ... akumulátor ŘJ ... řídicí jednotka
°P ... stupňová převodovka EM ... elektromotor
PP ... planetová převodovka K ... hnané kolo

Výhody:

- na rozdíl od varianty s jednou spojkou umožňuje plynulou spolupráci spalovacího a elektrického motoru i samostatnou funkci elektrického pohonu
- při nízkých momentech spalovací motor pracuje s větším momentem, než je nutné a tato energie se rozděluje mezi hnací kolo a dobíjení baterie pomocí elektrického stroje
- umožňuje větší účinnost hnacího ústrojí než v případě sériového uspořádání

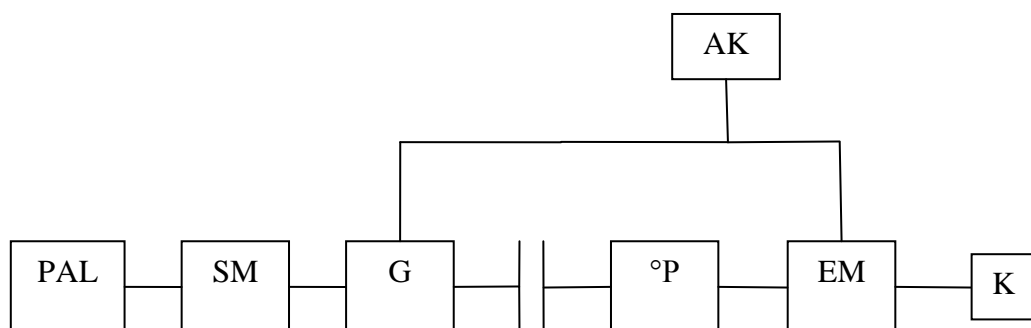
Nevýhody:

- nedosahuje požadované kombinované spotřeby, a tedy i hodnot emisí pro hybridní pohon, a proto se pro novější vozidla používá jen zřídka

2.3 Kombinovaná koncepce – I, II

Přepínatelné – čistě sériové nebo čistě paralelní, koncepce I

Při rozpojené spojce pracují jako sériové, při sepnuté spojce jako paralelní.



Obr. 6 Kombinovaná přepínatelná koncepce hybridního pohonu

Legenda:

<i>PAL ... palivová nádrž</i>	<i>SM ... spalovací motor</i>
<i>G ... generátor</i>	<i>°P ... stupňová převodovka</i>
<i>AK ... akumulátor</i>	<i>EM ... elektromotor</i>
<i>K ... hnané kolo</i>	

Výhody:

- tato varianta kombinuje výhody jak sériového, tak paralelního zapojení
- konstrukčně nenáročná varianta

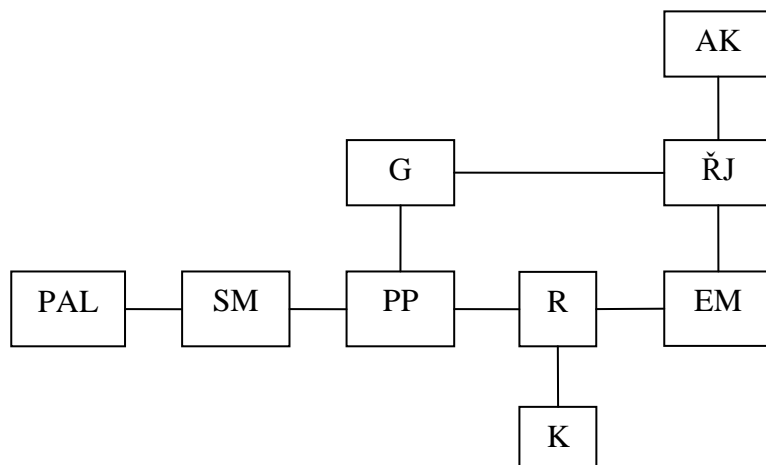
Nevýhody:

- zvýšení počtu dílů, a tedy i hmotnosti celého pohonného ústrojí
- horší poměr ceny a vlastností koncepce pohonu

S děličem výkonu – s planetovou převodovkou nebo dalším elektrickým strojem s rotujícím rotorem i statorem, koncepce II

Umožňuje nezávislou činnost spalovacího motoru a elektromotoru i jízdu na čistě elektrický pohon. Nejčastěji se používá planetová převodovka, která přenáší část energie na hnací kolo motocyklu a část pro pohon generátoru. Generátor pak podle potřeby buď dodává energii do trakčního motoru, nebo do baterie. Při tzv. nadsynchronním režimu motor pracuje jako generátor a dobíjí pak druhý elektrický stroj nebo baterii. Systém vede při vhodném řídicím algoritmu k velkému snížení spotřeby paliva. Spalovací motor i elektromotor pracují

v ideálním pásmu otáček a s maximální účinností. Další variantou řešení může být nahrazení planetové převodovky dalším elektrickým strojem s rotujícím rotorem a statorem.



Obr. 7 Kombinovaná koncepce hybridního pohonu s děličem výkonu

Legenda:

PAL ... palivová nádrž	SM ... spalovací motor
G ... generátor	PP ... planetová převodovka
R ... rozvodovka	K ... hnané kolo
AK ... akumulátor	ŘJ ... řídicí jednotka
EM ... elektromotor	

Výhody:

- nejvýhodnější uspořádání z hlediska spotřeby paliva a produkce emisí
- možnost realizace funkce full-hybrid – spalovací motor a elektromotor pracují na sobě zcela nezávisle a je možný i pohon pouze pomocí elektrické energie
- vyšší dostupný krouticí moment pro akceleraci a výkon pro dosažení vyšší maximální rychlosti
- planetová převodovka dovoluje plynulý rozsah převodových stupňů, tím dále snižuje ztráty a zvyšuje komfort jízdy

Nevýhody:

- relativně konstrukčně náročnější řešení s vyšším počtem dílů
- cena

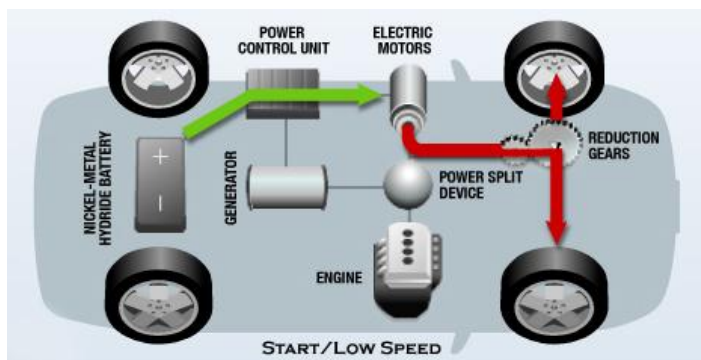
2.4 Analýza koncepcí

Koncepce / vlastnost	Sériová	Paralelní		Kombinovaná	
		jednospojková	dvouspojková	přepínatelná	s děličem výkonu
Výkon koncepce	0	1	1	2	2
Spotřeba paliva	1	1	2	2	3
Emise plyné	1	2	2	2	3
Emise hlukové	1	1	2	3	3
Systém rekuperace	1	0	2	2	3
Složitost konstrukce	3	3	2	1	1
Náklady na vývoj	3	3	2	2	1
Hmotnost koncepce	2	3	2	1	2
Složitost řídicího algoritmu	3	3	2	1	1
Délka servisního intervalu SM	3	1	2	2	3
Variabilita pohonu	0	0	2	2	3
Cena	3	3	2	1	1
Zhodnocení:	21	21	23	21	26

Tab. 1 Porovnání jednotlivých koncepcí hybridního pohonu
Čím vyšší číslo v příslušné kolonce, tím vyšší příslušná hodnota

2.5 Výběr varianty

Na základě rozvahy ohledně výhod a nevýhod jednotlivých koncepcí jsem vybral kombinovanou variantu s děličem výkonu v podobě planetové převodovky. Tento systém skvěle splňuje funkci full-hybridu, má vysokou účinnost a produkuje malé množství plyných a hlukových emisí. Stejným způsobem jsou řešeny hybridní pohony vozidel od firem Toyota a Lexus, které nyní představují to nejlepší, co lze v dané oblasti najít.



Obr 8. Schéma kombinovaného hybridního uspořádání s děličem výkonu od firmy Toyota pod názvem Hybrid Synergy Drive. Plynulé rozdělování výkonu má na starost planetová převodovka. Na obrázku jsou vidět toky elektrické (zelená) a mechanické energie (červená) při funkci elektrického pohonu.

3. Jízdní stavy motocyklu

3.1 Procesy přeměny energie

Rekuperace

K rekuperaci energie dochází u hybridního pohonu při brzdění nebo jízdě ze svahu. Energie přechází od hnacího kola do elektrického stroje, který v tomto režimu pracuje jako generátor. Ten pak získanou energií dobíjí baterii.

Akumulace

K akumulaci energie dochází v baterii motocyklu s určitou účinností. Baterie je nabíjena při jízdě z kopce, brzdění a v případě přebytku výkonu motoru, který ji v takové chvíli nabíjí přes generátor.

Spolupráce SM a EM

Každé hybridní vozidlo s označením full-hybrid může být poháněno jak pomocí spalovacího motoru, tak i elektromotoru a navíc i pomocí obou motorů najednou. K současnému využití spalovacího i elektrického motoru dochází hlavně ve chvílích prudké akcelerace, a nebo velmi rychlé jízdy, kdy je všechna dostupná energie pohonu dodávána přímo na hnací kolo.

3.2 Jízdní stavy

Legenda obrázků:

- ... elektrická energie
- ... mechanická energie

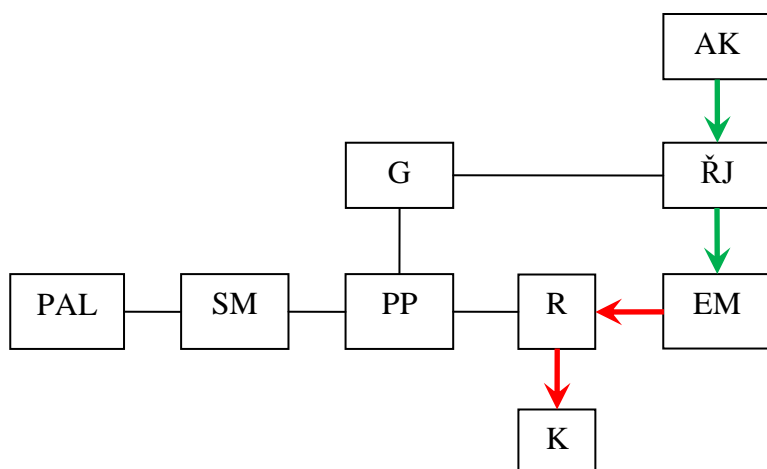
Použité zkratky:

PAL ... palivová nádrž
G ... generátor
R ... rozvodovka
AK ... akumulátor
EM ... elektromotor

SM ... spalovací motor
PP ... planetová převodovka
K ... hnané kolo
ŘJ ... řídicí jednotka

Start a pomalá jízda

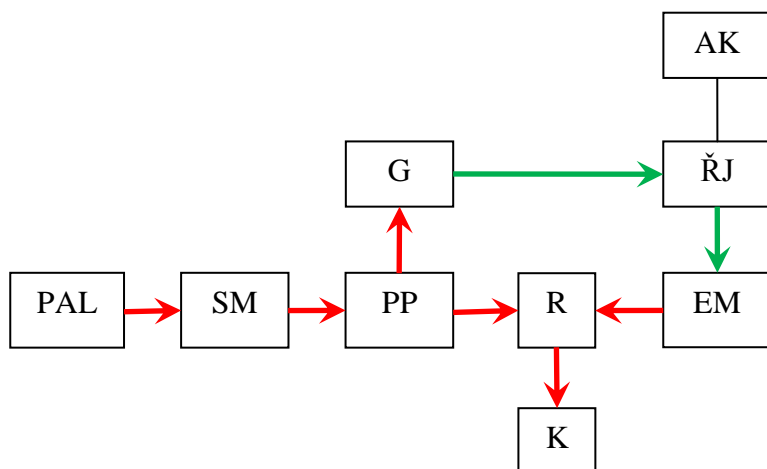
Hybridní vozidlo se rozjíždí zpravidla pomocí elektromotoru, který odebírá energii z baterie. Stejně tomu je i při pomalé jízdě, která se dá očekávat například v městském provozu. Vozidlo v tomto stavu neprodukuje žádné emise.



Obr. 9 Toky energií při startu motocyklu a pomalé jízdě

Jízda

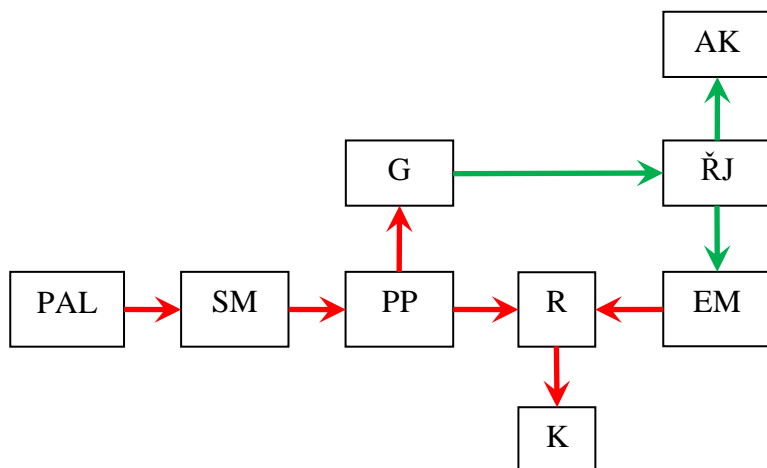
Zrychlení vozidla je doprovázeno zapojením spalovacího motoru, který pohání hnací kolo přímo a na druhé straně také generátor a elektromotor. Spalovací motor pracuje v tomto případě v oblasti ideálních otáček a s vysokou účinností.



Obr. 10 Toky energií při běžné jízdě motocyklu

Jízda s dobíjením

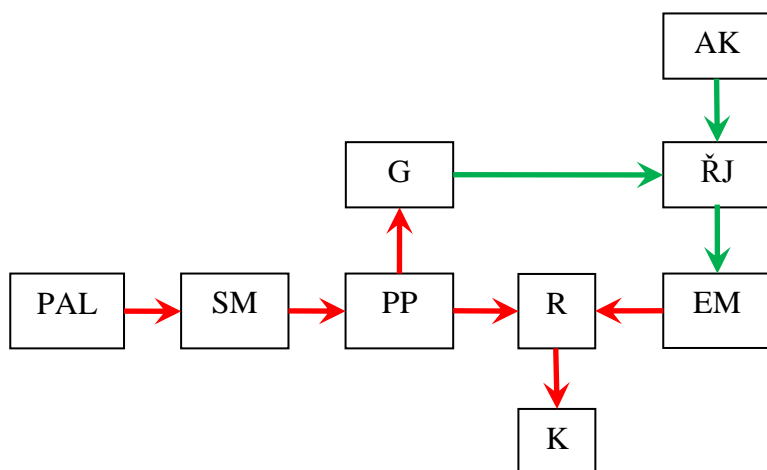
V tomto režimu přivádí spalovací motor energii nejen na hnací kolo, ale i do generátoru, který dobíjí baterii a připravuje ji tak k pozdějšímu využití.



Obr. 11 Toky energií při jízdě s dobíjením akumulátoru motorem

Prudká akcelerace

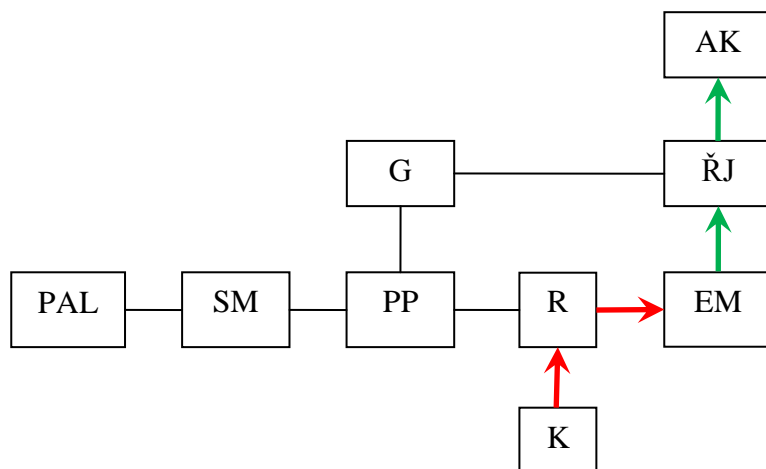
Prudká akcelerace znamená zapojení obou motorů pro dosažení nejvyššího výstupního momentu a výkonu. Stejným způsobem systém pracuje i v případě nutnosti dosažení vysoké rychlosti.



Obr. 12 Toky energií při prudké akceleraci a rychlé jízdě

Jízda z kopce a brzdění

Při jízdě z kopce nebo brzdění dochází k rekuperaci energie a její následné akumulaci v baterii.



Obr. 13 Toky energií při jízdě z kopce a brzdění – proces rekuperace energie

4 Výběr komponentů a jejich specifikace

4.1 Elektromotor

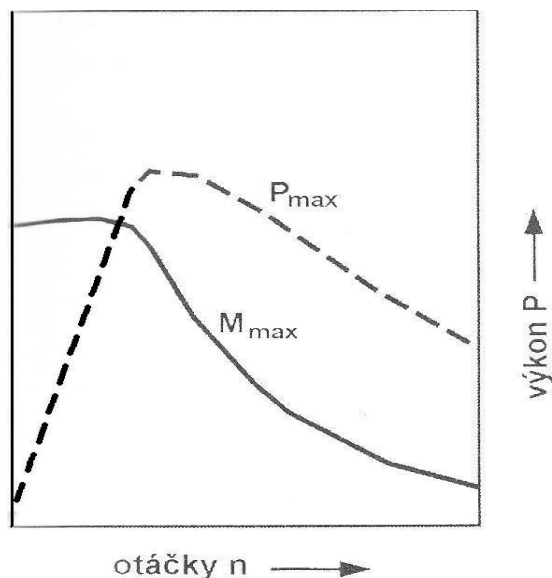
Elektrický motor vhodný pro pohon vozidla musí být spolehlivý a bezúdržbový. Dalšími sledovanými parametry jsou maximální možný moment důležitý pro rozjezd vozidla a maximální otáčky elektromotoru pro dosažení vysoké rychlosti jízdy. Navíc samozřejmě preferujeme malé rozměry stroje při zachování jeho výkonových parametrů.

Takové požadavky splňují střídavé elektromotory bez kartáčů a komutátoru. Proud na rotoru je zde vybuzen rotujícím magnetickým polem. Indukovaný proud působí na kotvu, která se pak otáčí. Na rozdíl od stejnosměrných motorů jsou střídavé menší, lehčí, bezúdržbové a vysoce přetížitelné. Při brzdění je možné získat zpětně energii s vysokou účinností. Nevýhodou jsou náklady na elektronickou regulaci.

4.1.1 Možné varianty řešení

Asynchronní stroj s klecovou kotvou nakrátko

Díky absenci vinutí kotvy a kolektoru je možné dosáhnout velmi vysokých otáček (až 20 000 ot/min). Stejnosměrný proud akumulátoru je přeměněn na střídavý obvykle pomocí cyklického zapínání tyristoru, který tak mění pravoúhlý průběh proudu na sinusový.



Obr. 14 Graf typických křivek krouticího momentu a výkonu pro asynchronní motor /1/

Výhody:

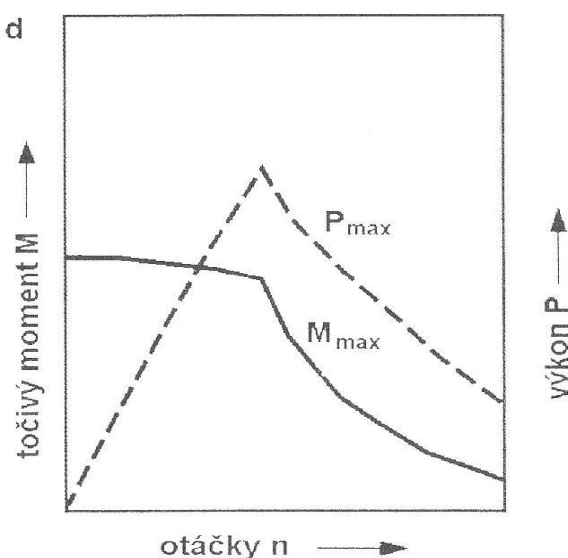
- nízké ztráty hysterezí a vířivými proudy, nižší indukované napětí díky možnosti odbuzení ve vyšších otáčkách
- díky jednodušší konstrukci rotoru je možné použít dvouhmotový setrvačnick
- nízká cena a robustní konstrukce

Nevýhody:

- vyšší hmotnost a složitější konstrukce
- kvůli nutnosti buzení ze statoru dochází k zatěžování výkonových polovodičů
- vyšší ztráty ve vinutí rotoru při studeném startu/protáčení

Synchronní stroj s permanentními magnety

Synchronní stroj je oproti asynchronnímu menší. Vybuzené magnetické pole je bezdrátové a tím docílíme vyšší účinnosti. Stejného rozsahu otáček, jako je tomu u asynchronního stroje, lze dosáhnout pouze v kombinaci s převodovkou, protože není možné řídit otáčky pomocí zeslabení pole.



Obr. 15 Graf typických křivek krouticího momentu a výkonu pro synchronní motor s permanentními magnety [1/]

Pro zajištění velkého záběrného momentu je vhodné umožnit velkou vzduchovou mezeru mezi rotorem a statorem. Tím zmenšíme velikost reakčního pole statoru vzhledem k buzení rotoru a navíc dosáhneme malé indukčnosti vinutí.

Výhody:

- díky použití permanentních magnetů docílíme menších ztrát v rotoru, tedy lepší účinnosti
- při použití elektromagnetů na bázi vzácných zemin dosáhneme i při malých rozměrech magnetu a malé indukci velkého napětí

Nevýhody:

- špatné odbuzování stroje nad jmenovitým bodem, dochází k vysokému indukovanému napětí a tedy i k hysterezním a vířivým ztrátám ve statoru
- nutný snímač polohy rotoru a statoru
- náchylnost stroje při převozu a montáži na styk s feromagnetickými materiály

4.1.2 Výběr varianty

Při výběru elektrického stroje pro pohon motocyklu jsou mezi nejdůležitějšími faktory především hmotnost, rozměry stroje a jeho výkon v poměru k velikosti. V tomto ohledu je vhodnější použití synchronního stroje s permanentními magnety. Tento stroj může také zastoupit funkci startéru pro spalovací motor.

Požadavky malé zástavby, hmotnosti a vysokého výkonu splňuje výrobek firmy E-pohon, která se specializuje jak na výrobu motocyklů a kol s čistě elektrickým pohonem, tak i možností jejich přestavby.

Trakční motor HPM 5000B 2 – 7 kW

Parametry:

Maximální výkon:	7 kW
Maximální krouticí moment:	11 Nm
Maximální otáčky:	6000 1/min
Provozní napětí:	24 až 72 V
Provozní proud:	100 A průběžně, 300 A krátkodobě (30s)
Účinnost:	88 %
Tělo motoru:	hliník
Hřídel:	nerez ocel
Hmotnost:	11 kg
Rozměry:	Ø 206 x 126 mm
Cena:	9 980 Kč



Obr. 16 Synchronní motor HPM 5000B firmy E-pohon

Motor je voděodolný a krátkodobě přetížitelný. Má vlastní systém chlazení vestavěným ventilátorem.

4.2 Alternátor

Alternátor je generátor třífázového (třífázové alternátory) nebo střídavého proudu (jednofázové alternátory). Protože ale může baterie akumulovat pouze stejnosměrný proud, je třeba alternátor doplnit ještě o usměrňovač. Generátory stejnosměrného proudu (dynama) se již nepoužívají z důvodu vyšší poruchovosti a ceny, složitější regulace a také větších rozměrů.

V některých případech je možné použít místo generátoru elektromotor pracující v generátorickém režimu. V takovém případě ale elektromotor pracuje s horší účinností než i výkonově slabší generátor, který je pro tuto funkci přímo konstruován.

Jednofázový

Jednofázový alternátor vytváří střídavé napětí se sinusovým průběhem. Součástí jsou rotující magnety rotoru a stator s hvězdicovým uspořádáním cívek, kdy počet cívek statoru odpovídá počtu magnetů rotoru.

Třífázový

Třífázové alternátory mohou při stejných otáčkách vyprodukovat více elektrické energie v porovnání s alternátory jednofázovými. Tři cívky statoru jsou propojeny do hvězdice nebo trojúhelníku. Alternátor pak produkuje tři střídavá sinusová napětí se vzájemným fázovým posunutím o 120° .

4.2.1 Výběr varianty

Asynchronní generátor firmy **Siemens 1LA9 090 – 2LA 11**

Parametry:

Jmenovitý výkon:	$P = 2,9 \text{ kW}$
Jmenovitý moment:	$M = 9,8 \text{ Nm}$
Jmenovité otáčky (50 Hz):	$n = 2\,825 \text{ ot/min}$
Jmenovitý proud:	$I = 6,3 \text{ A}$ při 400 V
Účinnost:	$\eta = 81\%$
Moment setrvačnosti:	$J = 0,002 \text{ kgm}^2$
Hmotnost:	$m = 15 \text{ kg}$
Rozměry:	$\varnothing 174 \times 233 \times 389$
Cena:	11 928 Kč



Obr. 17 Asynchronní generátor Siemens 1LA9 090 – 2LA 11

4.3 Baterie

Baterie je pro pohonné ústrojí hybridního pohonu jedním ze základních a rozhodujících prvků. Rozhoduje o zrychlení, maximální rychlosti a dojezdu vozidla na čistě elektrický pohon. Na baterii pohonu jsou kladeny vysoké nároky a díky tomu je jedním z nedražších komponentů hybridního pohonu.

4.3.1 Hlavní parametry

Hlavními parametry baterie jsou:

Měrná energie [W·h/kg]

Tato hodnota má přímý vliv na velikost dojezdu vozidla. S její velikostí ale zároveň značně stoupá cena baterie.

Měrný výkon [W/kg]

Udává maximální hodnotu rychlosti a zrychlení vozu při použití samotného elektromotoru.

Doba nabíjení [h]

Baterie bývají nabity zpravidla do několika hodin v závislosti na druhu použité baterie a stupni jejího vybití. Rychlost nabíjení není konstantní, ale v průběhu dobíjení postupně klesá.

Životnost

Životnost baterie závisí na počtu nabíjecích cyklů, jejím používání a údržbě. Za dobu ukončení její životnosti se udává okamžik, kdy její energie nenávratně klesne na polovinu původní hodnoty, udávané výrobcem.

Recyklace

Nároky na ekologii a ochranu životního prostředí jsou každým rokem přísnější. Materiály, ze kterých je baterie vyrobena, by měly co možná nejlépe splňovat současné i budoucí požadavky.

Cena

Cena použité baterie je rozhodně jedním z jejích z hlavních parametrů. V dnešní době není problém vyrobit skvělý výrobek, který bude splňovat požadované hodnoty. Daleko častěji hledáme výrobek s vyhovujícím poměrem ceny a kvality.

4.3.2 Druhy akumulátorů

Ni-Cd

Výhodou akumulátoru na bázi nikl-kadmium je vysoká životnost, recyklovatelnost a bezúdržbový provoz. Nevýhodou je tzv. paměťový efekt. Tento efekt popisuje snižování kapacity baterie při nabíjení, pokud nebyla předtím úplně vybita.

Ni-MH

Akumulátory nikl-metalhydrid dosahují vyšších hodnot měrné energie a jsou lépe recyklovatelné v porovnání s akumulátory Ni-Cd. Na rozdíl od nich mají ale jen zhruba poloviční životnost. Jsou dražší, náchylnější na údržbu a citlivé na změny teplot.

Zn-vzduch

Výhodou akumulátorů Zn-vzduch je jejich vysoká hodnota měrného výkonu a menší hmotnost. Při nízkých teplotách musí být ale ohříván a při odběru energie ochlazován.

Lithium-ion

Vysoká energetická hustota, životnost, ale i cena. Podle dosavadních prognóz brzy nahradí většinu používaných baterií v hybridních a elektrických vozidlech.

Lithium-metal-hydrid

Tyto akumulátory disponují vysokou energetickou hustotou při malé hmotnosti. Nejsou citlivé na rozdíly teplot a jsou odolné proti energetickému i mechanickému poškození. Nevýhodou je jejich vysoká cena.

Lithium-polymer

Akumulátory na bázi lithium-polymer mají dobrou výkonovou hustotu a účinnost při nabíjení. Jejich používání je ale omezeno možnou pracovní teplotou.

Sodík-nikl-chlorid

Tento druh patří mezi vysokoteplotní baterie využívající jako elektrolyt roztavenou sůl. V porovnání s Li-ion bateriemi mají ještě lepší účinnost a životnost. Nevýhodou je vysoká pracovní teplota elektrolytu (kolem 300°C), která snižuje bezpečnost při případné havárii.

4.3.3 Výběr vhodného akumulátoru

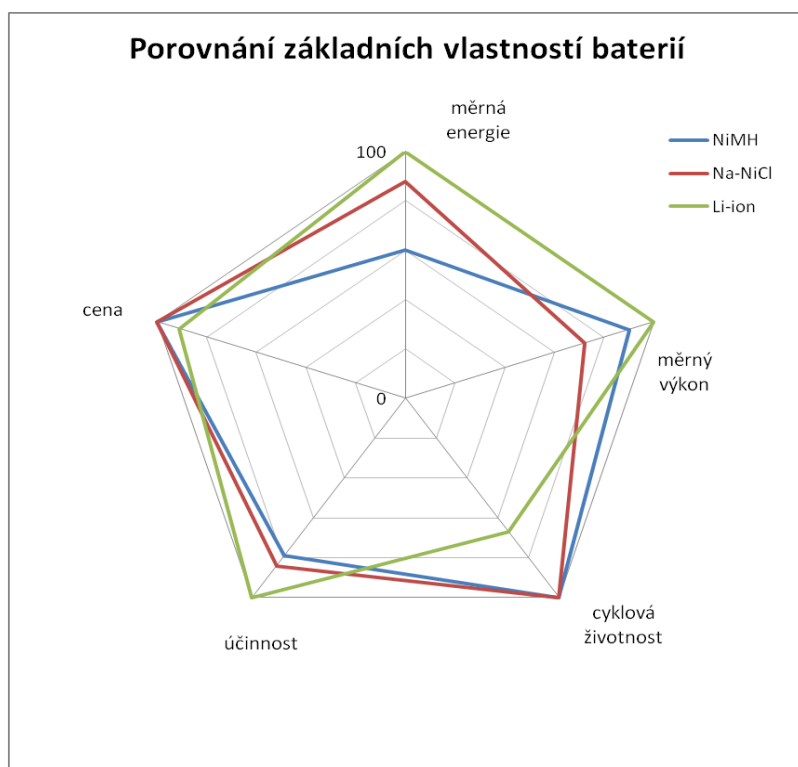
Výběr vhodné baterie pro pohon hybridního motocyklu je v současné době vcelku složitý. Mnoho různých typů je neustálým středem zájmu výzkumu, a proto se veškeré informace týkající se jejich vhodnosti občas značně rozcházejí.

Na základě vlastností jednotlivých druhů akumulátorů jsem s ohledem na poměr výkonových vlastností, účinnosti, životnosti, možnosti recyklace a ceny vybral tři nejvhodnější typy a seřadil je i s jejich vlastnostmi do tabulky.

Druh baterie	NiMH	Na-NiCl	Li-ion
Měrná energie [Wh/kg]	60 – 90	100 - 120	100 - 150
Měrný výkon [W/kg]	200 – 250	180	250
Cyklová životnost [cykly]	1500	1500	2000
Účinnost [%]	70	80	> 95
Vybíjení za měsíc [%]	30	0	10
Pracovní teplota [°C]	- 40 až 50	270 až 350	- 40 až 60
Cena [EURO]	250	250	275

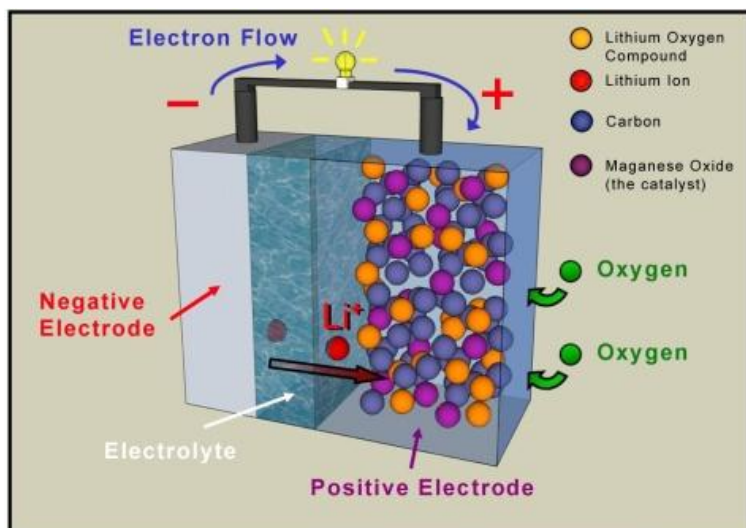
Tab. 2 Porovnání hlavních parametrů vybraných druhů akumulátorů

Základní vlastnosti vybraných druhů baterií dokáže přehledně zobrazit graf s více osami. Pro zjednodušení jsou jednotlivé parametry zobrazeny v poměru vzhledem k maximu daného parametru.



Obr. 18 Porovnání základních parametrů vybraných akumulátorů v grafu

Na základě těchto vlastností jsem jako ideální akumulátor pro hybridní motocykl vybral baterii na bázi Lithium-ion. Mnohými autory bývá označována jako baterie budoucnosti zvláště kvůli velké hodnotě měrné energie a měrného výkonu. Její prozatím vyšší cena navíc díky technickému pokroku neustále klesá.



Obr. 19 Princip Li-ion baterie

4.3.4 Výběr konkrétního výrobku:

Z veliké nabídky mnoha firem na trhu jsem na základě kvality, hmotnosti a ceny vybral li-ion články firmy GWL Power na bázi LiFeYPO₄:

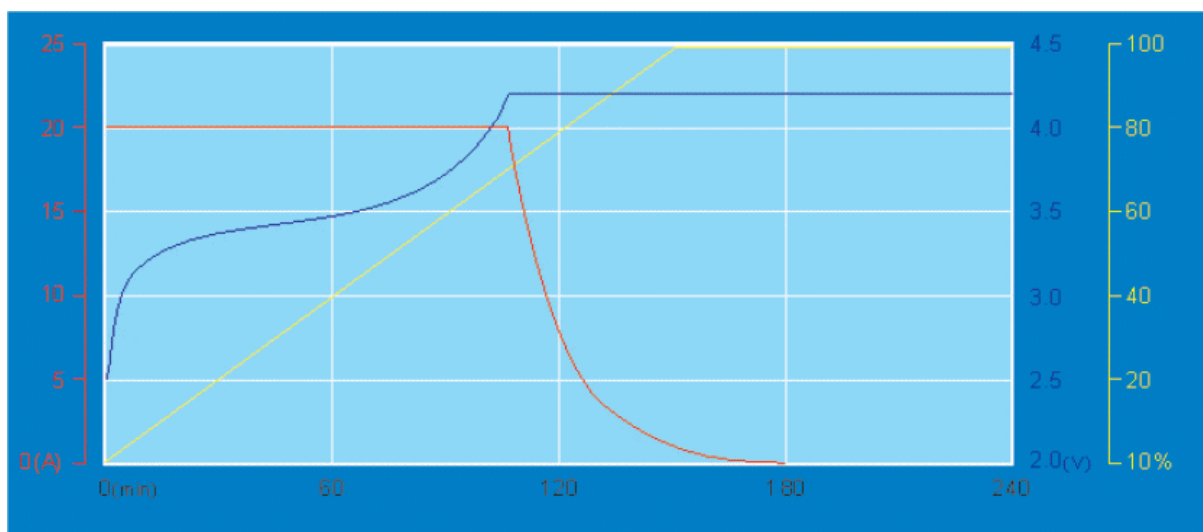
Název výrobku:	LFP040AHA
Popis výrobku:	Lithium Yttrium High Power Cell
Napětí článku:	3,2 V
Maximální nabíjecí napětí:	4,5 V
Kapacita článku:	40 Ah
Životnost:	přes 2000 cyklů při 80% vybití
Pracovní teplota:	- 20 až 70 °C
Rozměry článku:	190 x 116 x 46 mm
Hmotnost článku:	1,6 kg
Cena článku:	47 euro
Uspořádání:	15 ks sériově
Napětí baterie:	48 V
Minimální rozměry baterie (5x3):	190 x 348 x 230 mm
Minimální hmotnost baterie:	24 kg
Celková cena baterie:	705 euro



Obr. 20 Li-ion baterie firmy GWL Power

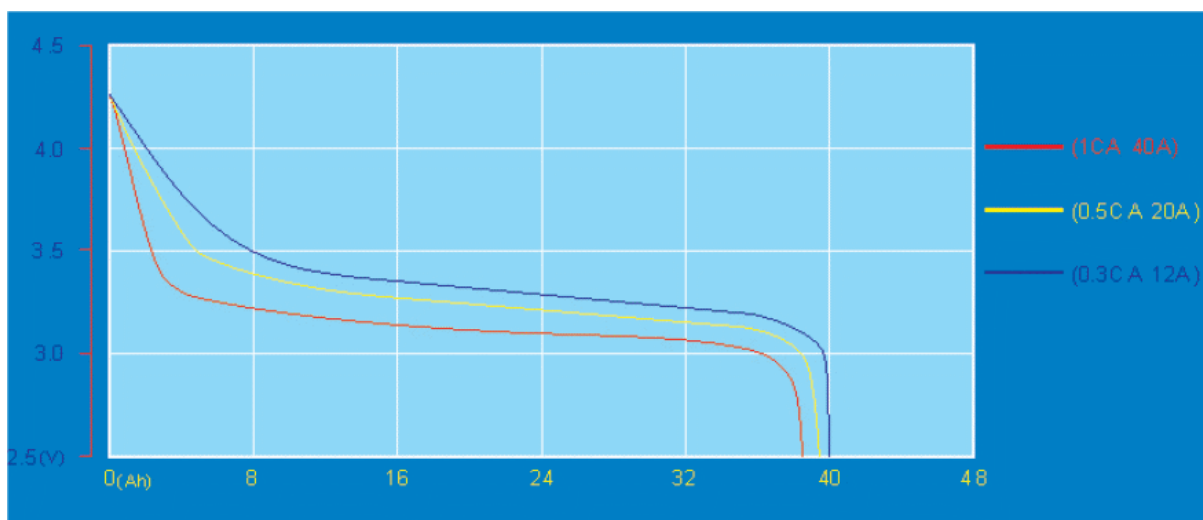
Tyto baterie jsou dle serveru www.auto88.cz vhodné pro použití u hybridních a elektrických vozidel pro svou schopnost dodat vyšší proud a fakt, že při extrémních

podmínkách jsou v porovnání s klasickými bateriemi Li-ion bezpečnější. Efekt samovybití u nich prakticky neexistuje a lze je nabíjet v jakémkoliv stavu vybití.



TS-LFP40AHA在25℃環境下的充電特性
TS-LFP40AHA CHARGE AT TEMPERATURE OF 25℃

Obr. 21 Nabíjecí charakteristika vybrané baterie pro teplotu 25°C



TS-LFP40AHA在25℃環境下的放電特性
TS-LFP40AHA DISCHARGE AT TEMPERATURE OF 25℃

Obr. 22 Vybíjecí charakteristika pro teplotu 25°C

4.4 Řídicí jednotka

Úkolem řídicí jednotky je optimálně rozdělovat toky energie od spalovacího a elektrického motoru. Mezi požadavky patří vysoká účinnost pohonu, nízké emise, zachování bezpečnosti, ale samozřejmě i komfortní jízda. Jednotka řídí nejen procesy jízdy, ale i rekuperaci energie. Také musí správně analyzovat úmysly řidiče ohledně stylu jízdy a podle toho měnit výsledný výkon a krouticí moment na poháněném kole.

Celá řídicí jednotka se skládá z výkonové jednotky (PCU - Power Control Unit) a řídicí jednotky (ECU - Electronic Control Unit).

Jednotka PCU se skládá z měniče stejnosměrného napětí na střídavé, aby mohl stejnosměrný proud z baterie napájet elektromotor a zbytek řídicí jednotky pohonu. Usměrňovač převádí střídavý proud z generátoru na stejnosměrný pro dobíjení baterie. Další usměrňovač má na starost převod střídavého napětí z elektromotoru v generátorském režimu na napětí stejnosměrné pro dobíjení baterie. Také tu musí být měnič hodnoty napětí na baterii na hodnotu napětí použitelnou pro elektromotor.

Jednotka ECU má na starost elektronické řízení všech součástí pohonného ústrojí pomocí elektrických vstupů ze senzorů. Systém řízení pak závisí pouze na řídicím programu. Tento program je obvykle aplikací pro operační systém pracující v reálném čase, jako je např. OSEK nebo VXD. Pro přenos dat se používají sériové sběrnice typu CAN, LIN nebo FlexRay.

Usměrňovač je elektrické zařízení schopné převádět střídavý proud (a napětí) z generátoru nebo elektromotoru na proud stejnosměrný, kterým můžeme následně dobíjet baterii. Zpravidla se konstruují jako můstkové z polovodičových diod, kdy jsou zapotřebí 4 diody pro usměrnění jednofázového střídavého proudu a šest až devět pro usměrnění třífázového proudu. Diody jsou součástky, které propouští elektrický proud pouze jedním směrem. Těleso usměrňovače bývá opatřeno žebrovaním pro lepší odvod tepla vznikajícího při převodu proudu.

Regulátor napětí je součástka, která reguluje velikost napětí v obvodu na potřebnou hodnotu. Obvykle bývá součástí usměrňovače proudu. Díky regulátoru můžeme pohánět pomocí baterie elektromotor, a nebo také baterii dobíjet pomocí elektromotoru v generátorském režimu při rekuperaci energie.

4.4.1 Výběr jednotky PCU

Požadavky:

- schopnost rychlého a přesného řízení parametrů
- umožnění rekuperace energie
- ochranné funkce

Jako výkonovou jednotku jsem vybral produkt firmy E-pohon Kelly KBL72201, který je ideální pro řízení vybraného elektromotoru. Jednotka disponuje při malých rozměrech vhodnými algoritmy pro řízení motorů v náročných podmínkách.

Kelly KBL 72201

Parametry:

Pracovní napětí:	24 až 72 V
Maximální trvalý výstupní proud:	100 A
Maximální špičkový výstupní proud:	200 A
Provozní frekvence:	16,6 kHz
Provozní teplota:	- 30 až 90°C
Účinnost:	98%

Rozměry: 201 x 146 x 62 mm
Hmotnost: 1,9 kg
Cena: 13 740 Kč



Obr. 23 Výkonová jednotka Kelly KBL 72201 firmy E-pohon

4.4.2 Výběr jednotky ECU

Požadavky:

- min. 2 CAN řadiče
- min. 5x analogový vstup a výstup
- min. 5x digitální vstup a výstup
- min. 2x PWM výstup
- musí obsahovat RS232
- automatický start řídicího programu při nastartování
- možnost automatické a rychlé změny řídicího programu
- paměť typu FLASH pro ukládání nastavitelných parametrů

Z nabízeného sortimentu řídicích jednotek jsem vybral výrobek firmy dSpace pod jménem MicroAutoBox 1401/1501.

Jedná se o automatický real-time systém vhodný pro realizaci rychlých funkcí. Program řídicí jednotky je uložen v energeticky nezávislé paměti a spustí se okamžitě po nastartování hnacího ústrojí.

Parametry:

Rozměry: 225 x 200 x 50 mm
Pracovní teplota: – 40 až 85°C
Maximální příkon: 20 W
Napájení: 6 až 40 V
Procesor: PowerPC 603e s frekvencí 300 MHz
Cena: 399 840 Kč

Obsahuje:

- 2 x CAN řadič
- 16 x analogový vstup s rozlišením 12 bitů
- 8 x analogový výstup s rozlišením 12 bitů
- 16 x digitální vstup a výstup
- 4 x PWM výstup 2,5 až 100 Hz
- 1 x RS232

Jednotka MicroAutoBox je propojena s jednotkou ISG pomocí sběrnice CAN. Jednotka ISG pak podle přijatých signálů řídí všechny potřebné parametry elektromotoru a generátoru hybridního pohonu.



Obr. 24 Řídicí jednotka ECU MicroAutoBox

4.5 Spalovací motor

Jednou z hlavních výhod hybridních pohonů je možnost použití spalovacího motoru s menším objemem. Spalovací motor pracuje v oblasti ideálních otáček z hlediska měrné spotřeby paliva. Tato oblast bývá zpravidla určena momentovou křivkou použitého motoru a nachází se pod touto křivkou v oblasti jejího maxima.

Spalovací motor může také po úpravě pracovat v Atkinsonově cyklu, který má v určitém rozpětí otáček větší účinnost a v kombinaci s elektrickým pohonem dosahuje skvělých výsledků. Atkinsonův cyklus je u hybridních pohonů často používán právě díky vhodnosti jeho doplnění elektromotorem. Startování bude probíhat přes elektromotor, který zastoupí funkci startéru.

Jako spalovací motor jsem zvolil motor motocyklu **Jawa 125 Travel**.

Parametry motoru:

Typ motoru:	čtyřdobý vzduchem chlazený
Počet válců:	1
Vrtání x zdvih (mm):	56,5 x 49,5
Zdvihový objem (cm³):	124
Kompresní poměr:	9 : 1
Maximální výkon: (kW/ot. x min⁻¹)	9,4 / 8200
Maximální krouticí moment: (Nm/ot. x min⁻¹)	9,2 / 7000
Spuštění motoru:	elektrický startér



Obr. 25 Motocykl Jawa 125 Travel

Motocykl Jawa dosahuje s tímto motorem maximální rychlosti 95km/h a čisté hmotnosti 115kg.

4.6 Duální systém

Pokud bychom všechny elektrické systémy motocyklu napájeli z Li-ionové 48 V baterie, docházelo by tak k rychlejšímu ničení nejdražšího komponentu hybridního pohonu.

Pro zvýšení životnosti hlavní 48 V baterie hybridního pohonu je tedy vhodné do systému zařadit ještě i klasickou 12 V baterii, která cenově ani hmotnostně celý motocykl příliš neovlivní. Z té bude odebírán proud na realizaci ostatních funkcí – stejných jako u klasických motocyklů poháněných pouze spalovacím motorem. Díky tomu nebude větší baterie tak často vybíjena, čímž zvýšíme její životnost a také dojezd motocyklu na čistě elektrický pohon.

4.6.1 Výběr baterie 12 V

Z nabídky na trhu jsem vybral baterii firmy Banner 3Ah/12V – 50314Bike Bull AGM. Výhodou je její malá cena v poměru k dobrým výkonovým vlastnostem.

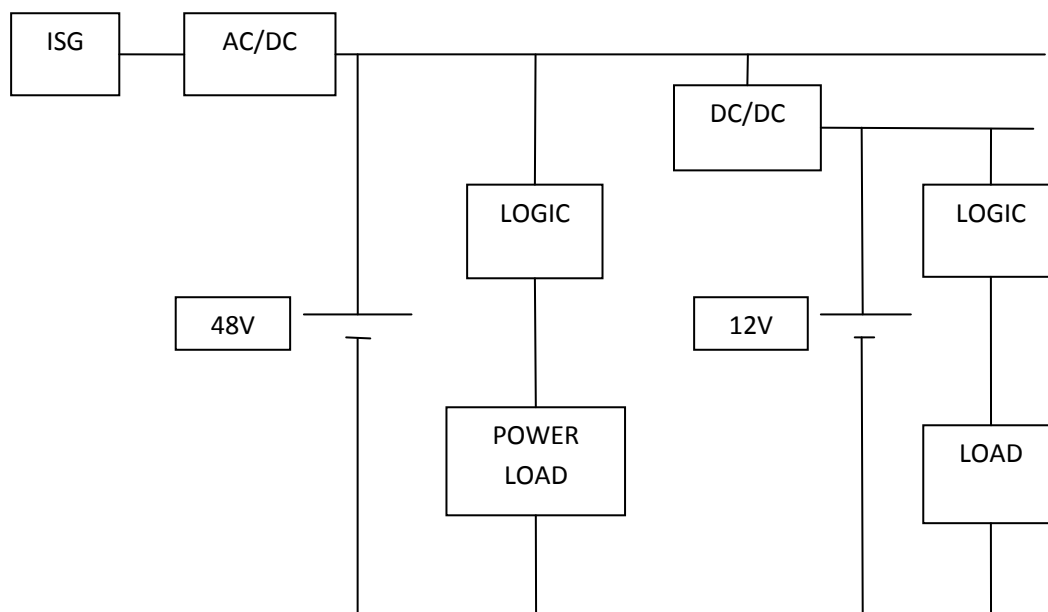
Parametry:

Rozměry:	114 x 86 x 71 mm
Objem elektrolytu:	0,19 l
Vybíjecí proud:	35 A
Cena:	550 Kč



Obr. 26 Motocyklová baterie 3Ah/12V firmy Banner

4.6.2 Schéma zapojení duálního systému

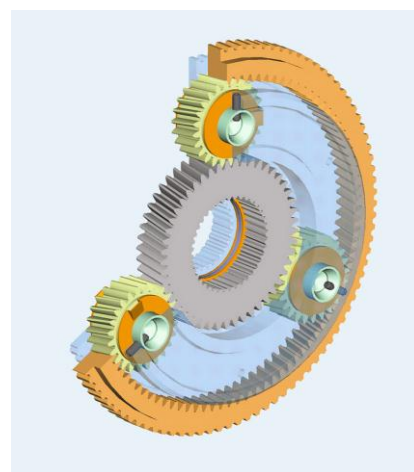


Obr. 27 Schéma duálního zapojení 48V a 12V baterie /21/

4.7 Planetová převodovka

Planetová převodovka slouží v kombinovaném uspořádání hybridního pohonu jako mechanický dělič výkonu mezi spalovacím motorem, generátorem a stálým převodem u hnacího kola motocyklu. Její činnost závisí na signálech od řídicí jednotky.

Planetová převodovka se skládá z centrálního a korunového kola a satelitů, které jsou navzájem propojeny unášečem. Převodovka umožňuje pomocí elektromotoru plynulou regulaci otáček na všech třech vstupech /výstupech



Obr. 28 Systém jednoduché planetové převodovky

Centrální kolo

Na centrální kolo převodovky je připojen generátor, který má za úkol převádět mechanickou energii ze spalovacího motoru na energii elektrickou. Ta pak proudí do elektromotoru, popř. do baterie.

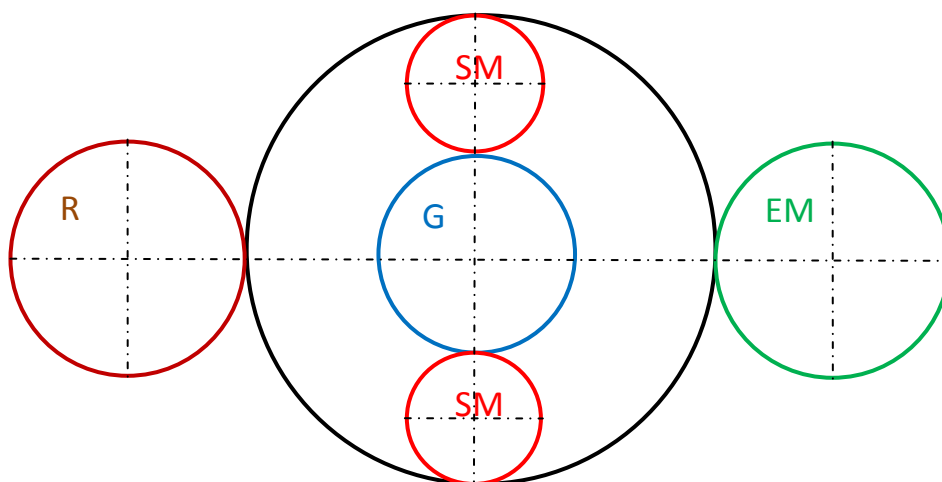
Unášeč

Na unášeč satelitů je připojen spalovací motor, který může díky hybridnímu pohonu pracovat v užším rozsahu otáček pro jeho maximální účinnost a tedy i minimální spotřebu paliva. Energie jde přes planetovou převodovku buď do generátoru, nebo přímo na stálý převod hnacího kola, případně do obou těchto členů.

Korunové kolo

Korunové kolo je spojeno se stálým převodem hnacího kola a s kolem elektromotoru. Spolu se sekundárním řetězovým převodem dávají dohromady celkový stálý převod, který se v průběhu jízdy nikdy nemění.

Takovéto uspořádání dovoluje malý zástavbový prostor. Energie přichází na rozvodovku R současně od spalovacího motoru SM a EM, a nebo pouze od elektromotoru EM v režimu elektropohonu. Díky tomuto kombinovanému uspořádání může SM pracovat v ideální oblasti otáček s minimální měrnou spotřebou paliva. Na výstupu z převodovky jsou převáděny otáčky rozvodovky R na řetězové kolo sekundárního převodu SP, které má pak přímou vazbu na hnací kolo motocyklu.



Obr. 29 Zjednodušené schéma zapojení planetové převodovky – pohled z boku

4.7.1 Výběr planetové převodovky

Hlavními požadavky na planetovou převodovku jsou malé rozměry a hmotnost. Samozřejmě musí bez problémů zvládat dané zatížení. Těmto požadavkům vyhovuje jednoduchá jednostupňová planetová převodovka a při současné nabídce na trhu není třeba vyrábět novou.

Proto jsem z nabídky zvolil výrobek **AD110** firmy Apex Dynamics, která v oblasti planetových převodovek vyrábí jedny z nejlepších prvků s ohledem na hmotnost, spolehlivost a mechanické vlastnosti.

Výstupní rychlost na rozvodovce je řízena přímo řídicí jednotkou pomocí elektromotoru. Pomocí ostatních převodů a stálým převodovým poměrem docílíme na hnacím kole vždy potřebných otáček. Správnou velikost a smysl otáček jednotlivých členů převodu je částečně možné ovlivnit nejen použitou planetovou převodovkou, ale také stálými převody mezi spalovacím motorem a planetovou převodovkou, planetovou převodovkou a generátorem.

Vlastnosti:

Rozměry: Ø 145 x 122 mm

Hmotnost: 5,6 kg

Počet stupňů: 1

Cena: 34 938 Kč včetně DPH



Obr. 30 Planetová převodovka AD110 od firmy Apex Dynamics

5. Konstrukční část

5.1 Návrh a výpočet sekundárního převodu motocyklu

Sekundární převod motocyklu zajišťuje přenos hnací síly z převodovky (primární převod) na hnací kolo. K realizaci přenosu se u motorů s příčným uložením nejčastěji používají válečkový a nebo pouzdrový řetěz. Vzhledem k lepší účinnosti přenosu jsem zvolil použití válečkového řetězu. Pro řetězový převod jsou nejvhodnější ozubená kola s velkými průměry, protože dochází k menšímu ohýbání řetězu a přenášení výkonu probíhá pomocí více zubů.



Obr. 31 Sekundární převod motocyklu

5.1.1 Návrh řetězového převodu /11/

Zadané parametry:

Přenášený výkon: $P = 14 \text{ kW}$ (předpokládaný výkon pro spolupráci SM a EM)

Převodový poměr: $i = 1,44$

Počet zubů pastorku: $z_1 = 27$

Počet zubů kola:

$$z_2 = i \cdot z_1 = 1,44 \cdot 27 \cong 39 \text{ zubů}$$

Teoretická osová vzdálenost:

$$a = 635 \text{ mm}$$

Určení příslušných koeficientů podle tabulek v /11/:

Součinitel rázu: $Y = 3 \dots$ přibližně určeno na základě tab. 24

Součinitel výkonu pro součinitel rázu $Y = 1$: $K_1 = 1,29 \dots$ po interpolaci z tab. 25

Korekční součinitel rázu: $y = 0,63 \dots$ korekční součinitel rázu z tab. 26

Součinitel výkonu:

$$K = K_1 \cdot y = 1,29 \cdot 0,63 = 0,81$$

Součinitel mazání: $\mu = 1$... pro správné mazání, z tab. 29

Pro předpoklad použití řetězu A, B: $\varphi = 1$

Diagramový výkon:

$$Pd = \frac{P}{K \cdot \mu \cdot \varphi}$$

$$Pd = \frac{14000}{0,81 \cdot 1 \cdot 1} = \underline{17,28 \text{ kW}}$$

Otáčky pastorku:

$$n_1 = 33,6 \text{ } ^1/\text{s}$$

$$\Rightarrow n_1 = 1210 \text{ } ^1/\text{min}$$

- otáčky odpovídající maximální předpokládané rychlosti motocyklu při předpokládaném momentovém využití 60%

Z diagramu zvolíme vhodný řetěz pro daný výkon a otáčky:

Řetěz 16B jednořadý

Síla pro přetržení: $F_{Pt} = 58 \text{ kN}$

Měrná hmotnost: $m = 2,75 \text{ kg/m}$

Rozteč řetězu: $t = 25,40 \text{ mm}$

Určení součinitele vzdálenosti podle tab. 28:

$$\frac{\bar{a}}{t} = \frac{635}{25,40} = 25 \Rightarrow \text{po interpolaci: } Q = 0,89$$

Průměr roztečné kružnice pastorku:

$$D_1 = \frac{t}{\sin \frac{\pi}{z_1}} = \frac{25,40}{\sin \frac{\pi}{27}} = \underline{218,790 \text{ mm}}$$

Průměr roztečné kružnice kola:

$$D_2 = \frac{t}{\sin \frac{\pi}{z_2}} = \frac{25,40}{\sin \frac{\pi}{39}} = \underline{315,659 \text{ mm}}$$

Počet článků řetězu:

$$x = \frac{2 \cdot \bar{a}}{t} + \frac{z_2 + z_1}{2} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{t}{a} = \frac{2 \cdot 635}{25,40} + \frac{39 + 27}{2} + \left(\frac{39 - 27}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{25,40}{635} = \underline{83,15}$$

\Rightarrow volíme 83 článků

Skutečná osová vzdálenost:

$$a = \frac{t}{8} \cdot \left[2 \cdot x - z_2 - z_1 + \sqrt{(2 \cdot x - z_2 - z_1)^2 - k \cdot (z_2 - z_1)^2} \right]$$

Součinitel **k** odečteme z tab. 36: $k = 0,8109$

$$a = \frac{25,40}{8} \cdot \left[2 \cdot 83 - 39 - 27 + \sqrt{(2 \cdot 83 - 39 - 27)^2 - 0,8109 \cdot (39 - 27)^2} \right] = \underline{633,14 \text{ mm}}$$

5.1.2 Pevnostní kontrola řetězu /11/

Kontrola navrženého řetězu na tah:

Rychlost řetězu:

$$v = \pi \cdot D_1 \cdot n_1 = \pi \cdot 218,790 \cdot 33,6 = \underline{23,09 \text{ m/s}}$$

Tahová síla v řetězu:

$$F = \frac{P}{v} = \frac{14000}{23,09} = \underline{606,3 \text{ N}}$$

Odstředivá síla na řetěz:

$$F_c = m \cdot v^2 = 2,75 \cdot 23,09^2 = \underline{1466 \text{ N}}$$

Předpoklad:

$k_s \leq 7$... bezpečnost při statickém namáhání

$k_d \leq 5$... bezpečnost při dynamickém namáhání

$$k_s = \frac{F_{pr}}{F + F_c} = \frac{58000}{606,3 + 1466} = 28,0 > 7 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

$$k_d = \frac{k_s}{Y} = \frac{28,0}{3} = 12,7 > 5 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

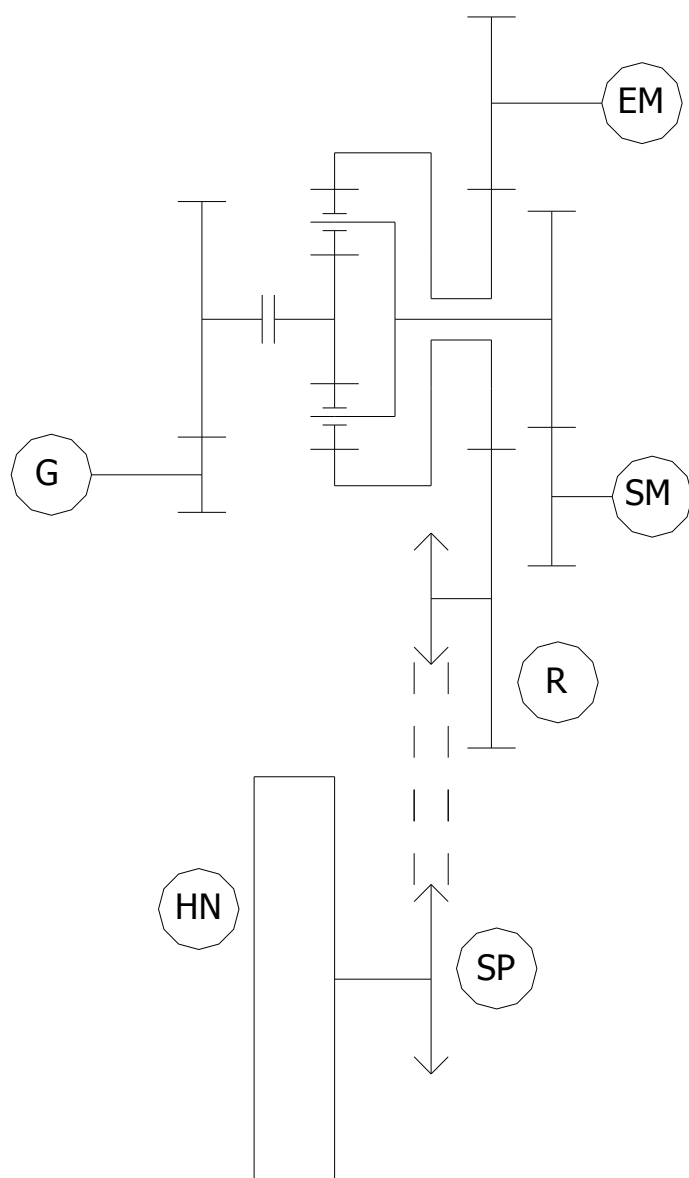
\Rightarrow výběr řetězu s označením: ŘETĚZ 83 ČLÁNKŮ 16 B-1 ČSN 02 3311.2

5.2 Určení jízdních stavů planetové převodovky

Planetová převodovka pracuje při jízdě neustále ve dvou základních stavech. Jedním je jízda pouze na elektrický pohon, druhým je spolupráce elektromotoru se spalovacím motorem a generátorem.

5.2.1 Planetová převodovka v režimu elektrického pohonu

Při jízdě čistě na elektrický pohon má na výstupní otáčky na hnaném kole vliv pouze elektromotor a příslušná převodová čísla. Spalovací motor stojí, satelity planetové převodovky se protáčí na místě a generátor je odpojen pomocí lamelové spojky. Pokud by generátor v tomto režimu nebyl odpojen, točil by se opačným směrem, než je tomu v kombinovaném režimu. V tomto režimu je elektromotor poháněn pouze energií z baterie. Pokud dojde k překročení hranice 25% jejího vybití, spustí se automaticky spalovací motor, spojka připojí generátor a planetová převodovka přejde do režimu kombinovaného pohonu.



Obr. 32 Schéma zapojení planetové převodovky – pohled seshora

Zadané a volené parametry:

Počet zubů kola elektromotoru:

$$Z_{EM} = 43$$

Počet zubů korunového kola u planetové převodovky:

$$Z_{KPP} = 107$$

Počet zubů korunového kola u stálého převodu:

$$Z_{KSP} = 113$$

Počet zubů satelitu planetové převodovky:

$$Z_S = 27$$

Počet zubů centrálního kola planetové převodovky:

$$Z_G = 53$$

Počet zubů kola stálého převodu:

$$Z_R = 123$$

Počet zubů pastorku generátoru:

$$Z_{G1} = 31$$

Počet zubů kola generátoru:

$$Z_{G2} = 97$$

Počet zubů pastorku spalovacího motoru:

$$Z_{SM1} = 57$$

Počet zubů kola spalovacího motoru:

$$Z_{SM2} = 89$$

Poloměr hnaného kola: $r_D = 0,278 \text{ m}$

Odpovídající převodová čísla:

Převodové číslo z kola elektromotoru na korunové kolo planetové převodovky: $i_{EM-K} = 2,63$

Převodové číslo z korunového kola planetové převodovky na stálý převod: $i_{K-R} = 1,15$

Převodové číslo ze stálého převodu na hnané kolo pomocí řetězu: $i_{R-HN} = 1,44$

Převodové číslo z planetové převodovky na generátor: $i_{PP-G} = 3,13$

Převodové číslo ze spalovacího motoru na planetovou převodovku: $i_{SM} = 1,56$

Výstupní otáčky na hnaném kole jsou v čistě elektrickém režimu dány pouze otáčkami elektromotoru a celkovým převodovým číslem, které se v tomto případě nemění.

Výpočtové vztahy:

Celkový stálý převod:

$$i_C = i_{EM-K} \cdot i_{K-R} \cdot i_{R-HN} [-]$$

Otáčky hnaného kola:

$$n_{HN} = \frac{v_K \cdot 60}{3,6 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_d} [1/\text{min}]$$

Otáčky elektromotoru:

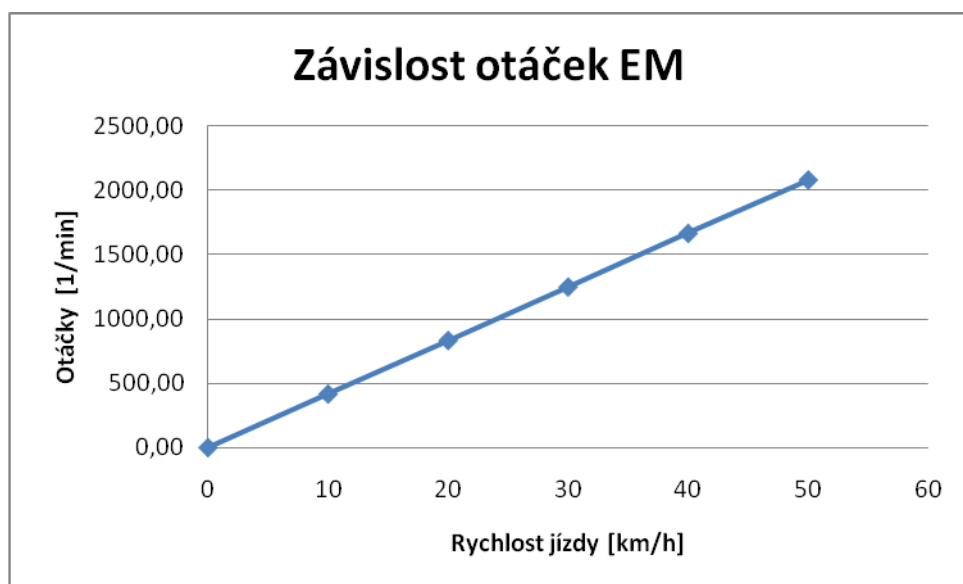
$$n_{EM} = n_{HN} \cdot i_C [1/\text{min}]$$

Závislost mezi požadovanou rychlostí jízdy a otáčkami elektromotoru můžeme pak přehledně zobrazit v tabulce:

Rychlost jízdy v_K [km/h]	Otáčky hnaného kola n_{HN} [1/min]	Otáčky elektromotoru n_{EM} [1/min]
0	0	0
10	95,42	415,40
20	190,83	830,79
30	286,25	1246,19
40	381,67	1661,59
50	477,08	2075,31

Tab. 3 Závislost otáček elektromotoru na výstupních otáčkách na hnaném kole

Závislost mezi otáčkami elektromotoru a hnaného kola je lineární.

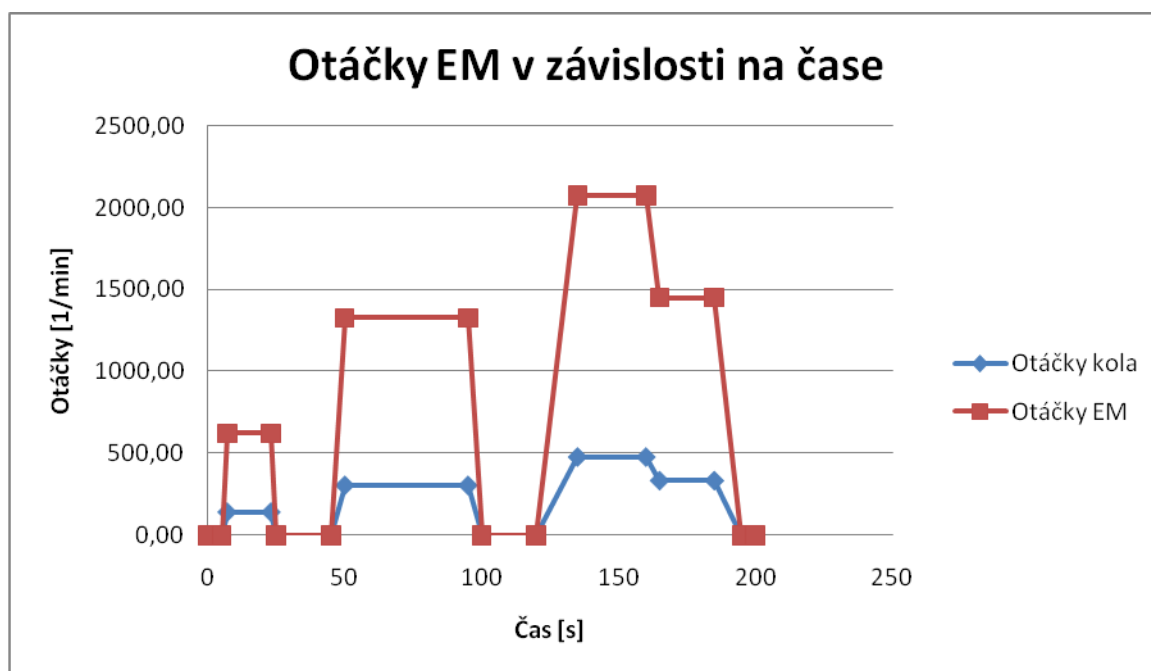


Obr. 33 Závislost otáček elektromotoru na rychlosti jízdy

Tuto otáčkovou závislost můžeme aplikovat i na městský jízdní režim UC (Urban Cycle), kdy se často pohybujeme v rychlostech do 50km/h. Takový režim je ideální pro využití hybridního pohonu vzhledem k potřebě malého výkonu a častému brzdění a tedy i častější rekuperace.

Rychlost [km/h]	Čas [s]	Otáčky hnacího kola [1/min]	Otáčky elektromotoru [1/min]	Otáčky spalovacího motoru [1/min]	Otáčky generátoru [1/min]
0	0	0	0	0	0
0	5	0	0	0	0
15	7	143,12	622,59	0	0
15	23	143,12	622,59	0	0
0	25	0	0	0	0
0	45	0	0	0	0
32	50	305,33	1328,20	0	0
32	95	305,33	1328,20	0	0
0	100	0	0	0	0
0	120	0	0	0	0
50	135	477,08	2075,31	0	0
50	160	477,08	2075,31	0	0
35	165	333,96	1452,72	0	0
35	185	333,96	1452,72	0	0
0	195	0	0	0	0
0	200	0	0	0	0

Tab. 4 Závislost otáček elektromotoru v režimu elektropohonu na otáčkách hnacího kola v městském jízdním režimu UC (Urban Cycle)



Obr. 34 Závislost otáček elektromotoru v městském jízdním režimu UC (Urban Cycle)

Z uvedeného grafu opět vidíme, že otáčky elektromotoru jsou přímo úměrné otáčkám hnaného kola, tedy i rychlosti jízdy. Na jejich rozdíl mají vliv pouze stálé převodové poměry, spalovací motor i generátor stojí.

5.2.2 Planetová převodovka v režimu kombinovaného pohonu /18/

V kombinovaném režimu je využito možnosti plynulé změny otáček na výstupu a to také umožňuje běh motoru v oblasti své nejlepší účinnosti. Otáčky spalovacího motoru se pohybují v pásmu jeho nejlepší účinnosti. V závislosti na otáčkách spalovacího motoru se mění otáčky generátoru, který dodává proud pro běh elektromotoru. V případě možnosti rekuperace je vozidlo brzděno elektromotorem pracujícím v generátorickém režimu a dobíjí baterii.

V tomto režimu jsou stejné vstupní informace pro výpočet, jako v režimu elektromotoru. Převodový poměr mezi libovolným vstupem do planetové převodovky a výstupem na hnané kolo se dá však spočítat pouze pro určité otáčky, protože je plynule měnitelný. Řídící jednotka mění otáčky spalovacího motoru a elektromotoru, generátor se přizpůsobuje otáčkám spalovacího motoru.

Výpočtové vztahy:

Celkový stálý převod:

$$i_C = i_{EM-K} \cdot i_{K-R} \cdot i_{R-HN} [-]$$

Otáčky hnaného kola:

$$n_{HN} = \frac{v_K \cdot 60}{3,6 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_d} [1/min]$$

Otáčky elektromotoru:

$$n_{EM} = n_{HN} \cdot i_C \text{ [1/min]}$$

Výpočet otáček generátoru vychází z Willisovy rovnice pro diferenciál:

$$i_{PK}^R = \frac{\omega_P - \omega_R}{\omega_K - \omega_R}$$

$$\omega_P = \omega_R + i_{PK}^R \cdot (\omega_K - \omega_R)$$

$$n_P = n_R - \frac{|z_K|}{z_P} \cdot (n_K - n_R)$$

P ... centrální kolo, odpovídá generátoru

K ... korunové kolo, má přímou vazbu na elektromotor a na hnací kolo

R ... unašeč satelitu, odpovídá spalovacímu motoru

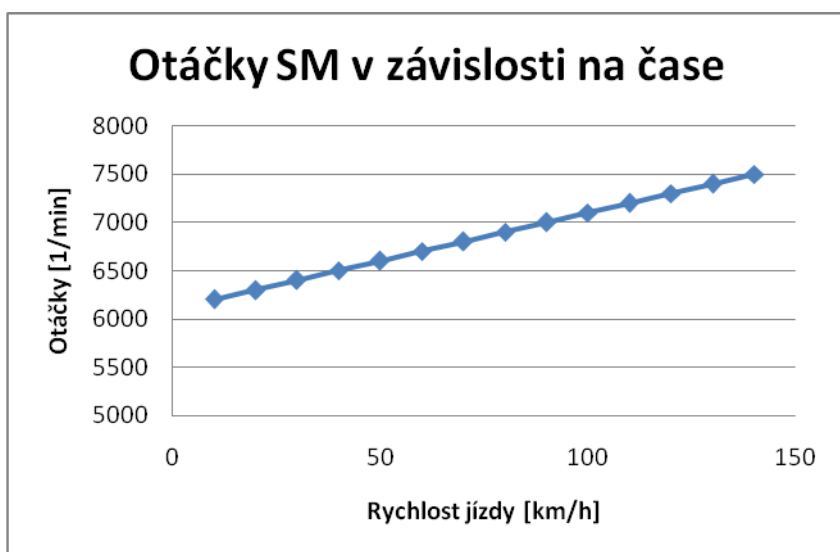
Podle výpočtu otáček centrálního kola lze určit výsledné otáčky generátoru:

$$n_G = \frac{n_{SM} - \frac{|z_K|}{z_G} \cdot (n_K - n_{SM})}{i_{PP-G}} \text{ [1/min]}$$

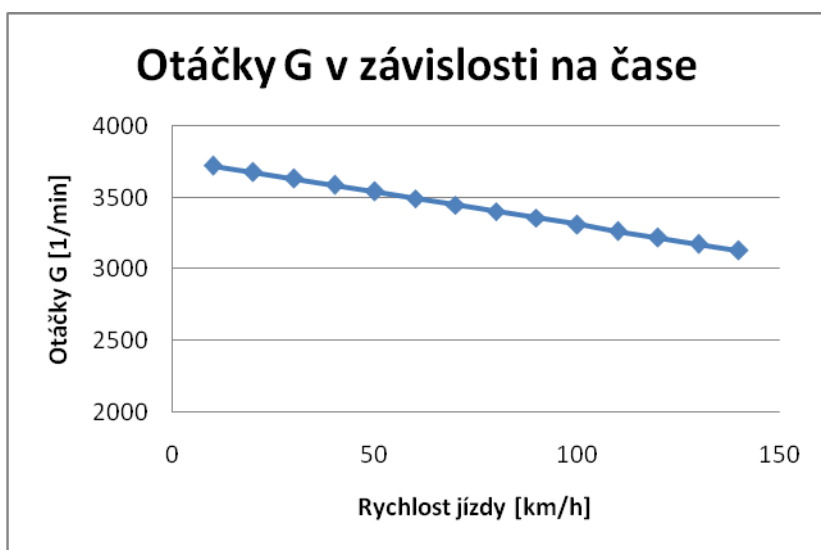
Následující tabulka uvádí hodnoty otáček hlavních komponent pohonu vzhledem k rychlosti jízdy. Otáčky spalovacího motoru byly voleny přibližně s ohledem na pásmo minimální měrné spotřeby, která se nachází pod vrcholem momentové křivky spalovacího motoru. Vrchol momentové křivky pro použitý motor odpovídá hodnotě 7000 ot/min spalovacího motoru.

Rychlost jízdy [km/h]	Otáčky hnaného kola [1/min]	Otáčky elektromotoru [1/min]	Otáčky spalovacího motoru [1/min]	Otáčky generátoru [1/min]
0	0	0	0	0
10	95,42	415,07	6200	3723,36
20	190,83	830,13	6300	3677,53
30	286,25	1245,20	6400	3631,70
40	381,67	1660,27	6500	3585,87
50	477,08	2075,31	6600	3540,04
60	572,50	2490,40	6700	3494,21
70	667,92	2905,47	6800	3448,37
80	763,33	3320,53	6900	3402,54
90	858,75	3735,60	7000	3356,71
100	954,17	4150,67	7100	3310,88
110	1049,58	4565,73	7200	3265,05
120	1145,00	4980,80	7300	3219,22
130	1240,42	5395,87	7400	3173,38
140	1335,83	5810,93	7500	3127,55

Tab. 5 Závislost otáček členů hybridního pohonu na výstupních otáčkách na hnaném kole



Obr. 35 Závislost otáček spalovacího motoru na rychlosti jízdy – kombinovaný režim

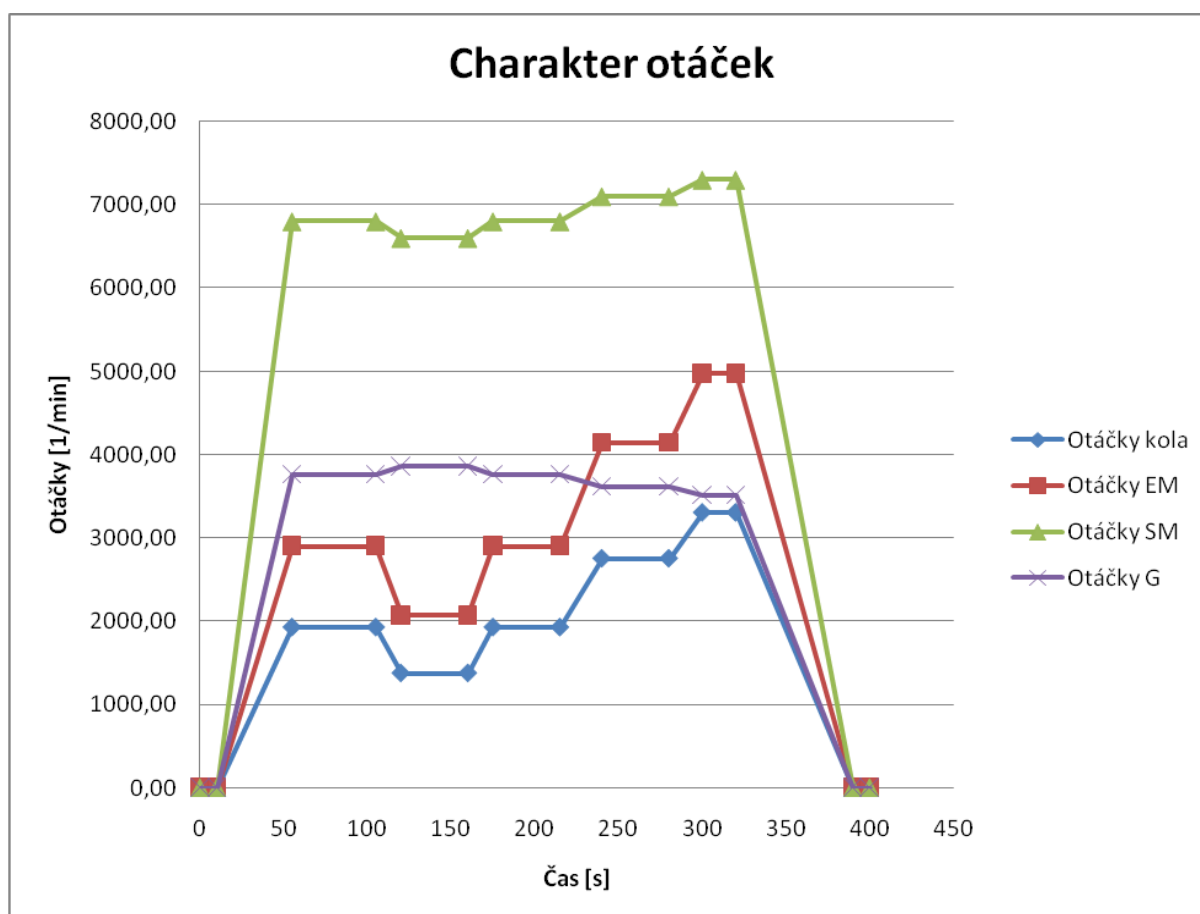


Obr. 36 Závislost otáček generátoru na rychlosti jízdy – kombinovaný režim

V kombinovaném mimoměstském cyklu EUDC (Extra Urban Driving Cycle) můžeme znázornit vzájemné závislosti otáček elektromotoru, generátoru a spalovacího motoru vzhledem k potřebným otáčkám na výstupu na hnaném kole. V tomto cyklu budeme uvažovat neustálou spolupráci jak spalovacího motoru, tak i elektromotoru.

Rychlost [km/h]	Čas [s]	Otáčky elektromotoru [1/min]	Otáčky spalovacího motoru [1/min]	Otáčky generátoru [1/min]
0	0	0	0	0
0	10	0	0	0
70	55	2905,44	6800	3764,23
70	105	2905,44	6800	3764,23
50	120	2075,31	6600	3863,07
50	160	2075,31	6600	3863,07
70	175	2905,44	6800	3764,23
70	215	2905,44	6800	3764,23
100	240	4150,62	7100	3615,96
100	280	4150,62	7100	3615,96
120	300	4980,75	7300	3517,11
120	320	4980,75	7300	3517,11
0	390	0	0	0
0	400	0	0	0

Tab. 6 Závislost otáček elektromotoru, spalovacího motoru a generátoru v kombinovaném režimu v čase v mimoměstském cyklu EUDC (Extra Urban Driving Cycle)



Obr. 37 Závislost otáček elektromotoru, spalovacího motoru a generátoru v mimoměstském cyklu EUDC (Extra Urban Driving Cycle)

V uvedeném grafu je dobře vidět vliv konstantního převodového poměru mezi elektromotorem a otáčkami kola. Jinak je tomu u otáček generátoru a spalovacího motoru – když u spalovacího motoru otáčky klesají, způsobí to nárůst otáček u generátoru a naopak. Stejná obvodová rychlost korunového kola planetové převodovky jde podle Willisovy rovnice pro diferenciál dosáhnout buď změnou otáček spalovacího motoru (unašeč satelitu) nebo generátoru (centrální kolo).

5.3 Uspořádání komponentů

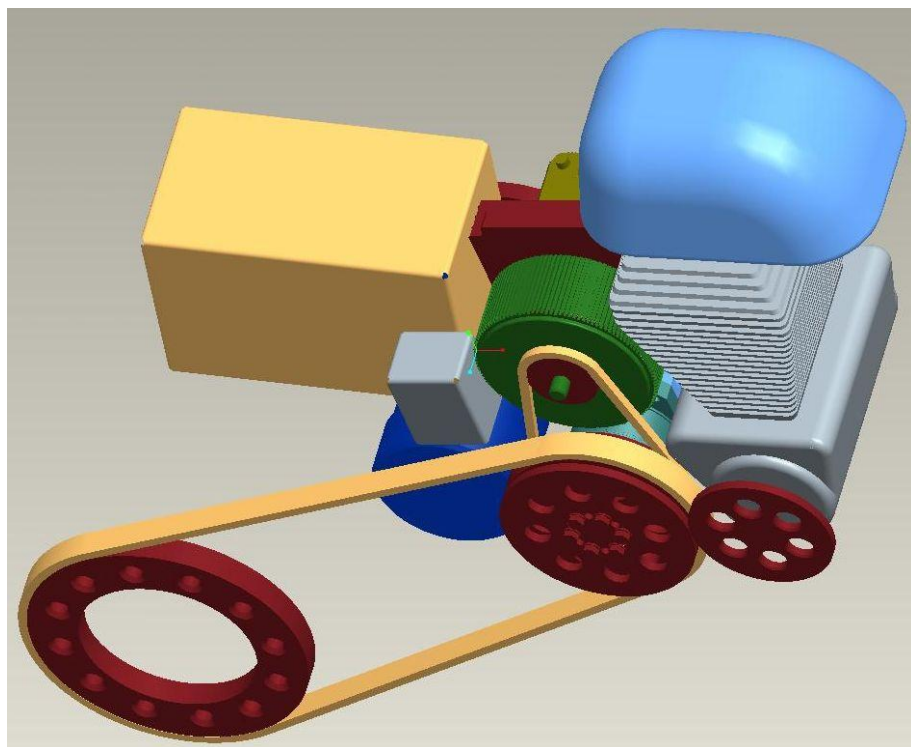
Uspořádání komponentů celého pohonu se řídí dvěma hlavními požadavky – konstrukční a provozní. Jednotlivé díly musí odpovídat zapojení kombinovaného uspořádání, popsaného v bodě 2.3. Také mohou mít ale významný vliv na změnu jízdních vlastností motocyklu kvůli posunutí těžiště díky hmotnosti přidaných dílů hybridního pohonu. Vzhledem k celkové hmotnosti u motocyklu jde na rozdíl od automobilu o celkem výrazný zásah. Nevhodným uspořádáním komponentů by mohlo dojít ke značné přetáčivosti, což je rozhodně nežádoucí.

Proto byla nejvhodnější varianta uspořádání řešena s ohledem na maximálně neutrální chování motocyklu při jízdě. Ve zjednodušení to znamenalo udržet těžiště motocyklu s jezdcem v neutrální poloze a co nejnižší.

Problematika změny jízdních vlastností vlivem přidání komponentů je podrobně řešena v bodě 6.8.

5.4 Model hnacího ústrojí

Zvolené konstrukční uspořádání bylo voleno na základě malé zástavby a vlivu posunutí těžiště motocyklu. Podařilo se dosáhnout podobného poměrného zatížení obou os kol a zachovat rozvor původního modelu firmy Jawa.



Obr. 38 Zjednodušený model konstrukčního uspořádání jednotlivých prvků pohonu

6. Jízdní vlastnosti hybridního motocyklu

Hybridní pohon motocyklu má na rozdíl od konvenčního stroje s čistě spalovacím motorem řadu výhod, ale zároveň také i určité nevýhody. Přidáním elektrického stroje zvyšujeme výkonové parametry pohonného ústrojí, zlepšujeme jeho účinnost, ale také zvyšujeme celkovou hmotnost motocyklu. Stejně tak ovlivní spotřebu paliva i ovládání elektroniky hybridního pohonu.

Pro lepší hospodárnost jízdy na elektropohon budeme uvažovat odpojení jeho samostatné činnosti při rychlostech nad 50 km/h. Nad touto rychlostí bude elektrický pohon pracovat už jen ve spolupráci s motorem spalovacím. Tyto situace budou řízeny řídicí jednotkou, stejně jako i všechny další jízdní režimy.

Ostatní parametry motocyklu, netýkající se přímo pohonu, jsou převzaty od modelu firmy Jawa 125 Travel.

6.1 Určení výkonu hybridu pro jízdu po rovině

Zadané a volené hodnoty:

Celková hmotnost motocyklu:	$m = 255 \text{ kg}$
Velikost gravitačního zrychlení:	$g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$
Rychlost jízdy 1:	$v_1 = 75 \text{ km/h}$
Rychlost jízdy 2:	$v_2 = 50 \text{ km/h}$
Součinitel valivého tření:	$f = 0,015$
Součin vyjadřující tvar a velikost motocyklu:	$c_X \cdot S_X = 0,593$
- vypočteno z údajů o modelu Jawa 125 Travel	
Hustota vzduchu:	$\rho = 1,16 \text{ kg/m}^3$

Při jízdě motocyklu konstantní rychlostí po rovině musí být překonáván odpor vzduchu a odpor proti valení:

$$F_K = F_V + F_T \quad (5)$$

$$\text{kde: odpor vzduchu} \quad F_V = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_X \cdot S_X \cdot v^2 \quad (5)$$

$$\text{odpor proti valení} \quad F_T = m \cdot g \cdot f \quad (5)$$

Pokud tyto odpory vynásobíme rychlostí, získáme teoretický výkon na kole, potřebný k jejich překonání.

Výkon na kole pro $v_1 = 75 \text{ km/h}$:

$$\begin{aligned} P_{K1} &= \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_X \cdot S_X \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot f \right) \cdot v_1 = \\ &= \left(\frac{1}{2} \cdot 1,16 \cdot 0,593 \cdot \left(\frac{75}{3,6} \right)^2 + 255 \cdot 9,81 \cdot 0,015 \right) \cdot \left(\frac{75}{3,6} \right) = 3\,111 \text{ W} = \underline{\underline{3,89 \text{ kW}}} \end{aligned}$$

Výkon na kole pro $v_2 = 50$ km/h:

$$P_{K2} = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot f \right) \cdot v_2 =$$

$$= \left(\frac{1}{2} \cdot 1,16 \cdot 0,593 \cdot \left(\frac{50}{3,6} \right)^2 + 255 \cdot 9,81 \cdot 0,015 \right) \cdot \left(\frac{50}{3,6} \right) = 1\,442 \text{ W} = \underline{1,44 \text{ kW}}$$

Podle vypočtených hodnot je patrný velký rozdíl potřebných výkonů pro žádanou rychlost jízdy. Velikost síly odporu vzduchu totiž stoupá s druhou mocninou.

6.2 Teoretický dojezd motocyklu pro režim spalovacího motoru /14/

Zadané a volené hodnoty:

Výkon pro jízdu po rovině:	$P_K = 3,89 \text{ kW}$
Rychlost jízdy:	$v_1 = 75 \text{ km/h}$
Měrná energie paliva:	$e_G = 8,9 \text{ kWh/l}$
Objem palivové nádrže:	$N = 17 \text{ l}$
Účinnost pro daný režim:	$\eta_G = 0,13$

Celková energie paliva v nádrži je:

$$E_G = e_G \cdot N = 8,9 \cdot 17 = \underline{151,3 \text{ kWh}}$$

Nyní můžeme spočítat, jak dlouho může pohonné ústrojí dodávat potřebný výkon:

$$t_G = \frac{\eta_G \cdot E_G}{P_K} = \frac{0,13 \cdot 151,3}{3,89} = \underline{5,06 \text{ h}}$$

Pokud tento čas vynásobíme rychlostí jízdy, získáme hodnotu teoretického dojezdu motocyklu:

$$S = t_G \cdot v = 5,06 \cdot 75 = \underline{379,5 \text{ km}}$$

Také můžeme vyjádřit měrný teoretický dojezd vztažený na jeden litr paliva:

$$s = \frac{S}{N} = \frac{379,5}{17} = \underline{22,32 \text{ km/l}}$$

6.3 Teoretický dojezd motocyklu pro režim elektropohonu /14/

Zadané a volené hodnoty:

Výkon pro jízdu po rovině:	$P_K = 1,44 \text{ kW}$
Rychlost jízdy:	$v = 50 \text{ km/h}$
Energie baterie:	$E_E = 1,92 \text{ kWh}$
Účinnost pro daný režim:	$\eta_E = 0,81$
Kritérium odpojení baterie:	$\Delta \text{SOC} = 0,25$

Maximální doba pro dodávání potřebného výkonu:

$$t = \frac{\eta_E \cdot E_E \cdot \Delta \text{SOC}}{P} = \frac{0,81 \cdot 1,92 \cdot 0,25}{1,44} = \underline{0,27 \text{ h}}$$

Teoretický dojezd při dané rychlosti pro čistě elektrický pohon:
 $S = v \cdot t = 50 \cdot 0,27 = \underline{13,5 \text{ km}}$

6.4 Režim dobíjení baterie spalovacím motorem /14/

Zadané a volené hodnoty:

Výkon pro jízdu po rovině: $P_K = 3,89 \text{ kW}$
 Rychlost jízdy: $v = 75 \text{ km/h}$
 Energie paliva: $E_G = 151,3 \text{ kWh}$
 Účinnost pro daný režim: $\eta = 0,12$

Maximální doba pro realizaci daného režimu:

$$t = \frac{\eta \cdot E_G}{P} = \frac{0,12 \cdot 151,3}{3,89} = \underline{4,67 \text{ h}}$$

Teoretický dojezd pro daný režim:

$$S = v \cdot t = 75 \cdot 4,67 = \underline{350,3 \text{ km}}$$

6.5 Očekávané výkonové parametry motocyklu

Parametry spalovacího motoru:

Maximální výkon: $P_{SM} = 9,4 \text{ kW}$
Maximální krouticí moment: $M_{SM} = 9,2 \text{ Nm}$

Parametry elektromotoru:

Maximální výkon: $P_E = 7 \text{ kW}$
Maximální krouticí moment: $M_E = 11 \text{ Nm}$

Očekávané parametry hybridního pohonu:

Výkony ani momenty jednotlivých dílčích zdrojů energie není možné jednoduše sečíst. Výkonové parametry se dají pouze přibližně odhadnout nebo změřit.

Pro teoretický výpočet tedy budeme uvažovat výkonové parametry:

Maximální výkon: $P_H = 14 \text{ kW}$
Maximální krouticí moment: $M_H = 15 \text{ Nm}$

Teoretická maximální rychlost:

$$P_H = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot v_{MAX}^2 + m \cdot g \cdot f \right) \cdot v_{MAX}$$

$$v_{MAX} = \frac{P_H}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot v_{MAX}^2 + m \cdot g \cdot f} = \frac{14000}{\frac{1}{2} \cdot 1,16 \cdot 0,447 \cdot v_{MAX}^2 + 250 \cdot 9,81 \cdot 0,015}$$

Numerickou metodou zjistíme maximální rychlost pro daný výkon:

$$v_{MAX} = \underline{132 \text{ km/h}}$$

Při porovnání s údaji výrobce modelu Jawa 125 Travel s maximální rychlostí 95 km/h se jedná o teoretický nárůst o 37 km/h. Podobný rozdíl bude patrný i při potřebě náhlé akcelerace, kdy je krouticí moment skoro dvojnásobný oproti původní hodnotě.

S tímto hybridním motocyklem by neměl být problém dosáhnout na rovné vozovce rychlostního dálničního limitu. Výhody silnějšího pohonu budou znatelné i při předjíždění, jeho úspornost pak při snížené průměrné spotřebě paliva.

6.6 Určení parametrů porovnávacího modelu Jawa /14/

Zadané a volené hodnoty:

Celková hmotnost motocyklu:	$m = 200 \text{ kg}$
Velikost gravitačního zrychlení:	$g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$
Rychlost jízdy:	$v = 75 \text{ km/h}$
Součinitel valivého tření:	$f = 0,015$
Součin vyjadřující tvar a velikost motocyklu:	$c_X \cdot S_X = 0,593$
Hustota vzduchu:	$\rho = 1,16 \text{ kg/m}^3$
Měrná energie paliva:	$e_G = 8,9 \text{ kWh/l}$
Objem palivové nádrže:	$N = 17 \text{ l}$
Účinnost pro daný režim:	$\eta_G = 0,13$

Určení potřebného výkonu pro jízdu na rovině:

$$P_{K1} = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_X \cdot S_X \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot f \right) \cdot v_1 =$$

$$= \left(\frac{1}{2} \cdot 1,16 \cdot 0,593 \cdot \left(\frac{75}{3,6} \right)^2 + 200 \cdot 9,81 \cdot 0,015 \right) \cdot \left(\frac{75}{3,6} \right) = 2\,956 \text{ W} = \underline{3,72 \text{ kW}}$$

Celková energie paliva v nádrži je:

$$E_G = e_G \cdot N = 8,9 \cdot 17 = \underline{151,3 \text{ kWh}}$$

Nyní můžeme spočítat, jak dlouho může pohonné ústrojí dodávat potřebný výkon:

$$t_G = \frac{\eta_G \cdot E_G}{P_K} = \frac{0,13 \cdot 151,3}{3,72} = \underline{5,29 \text{ h}}$$

Pokud tento čas vynásobíme rychlostí jízdy, získáme hodnotu teoretického dojezdu motocyklu:

$$S = t_G \cdot v = 5,29 \cdot 75 = \underline{397 \text{ km}}$$

Také můžeme vyjádřit měrný teoretický dojezd vztažený na jeden litr paliva:

$$s = \frac{S}{N} = \frac{397}{17} = \underline{23,35 \text{ km/l}}$$

6.7 Teoretický dojezd motocyklu

Přidáním komponentů hybridního pohonu se zvýší čistá hmotnost motocyklu přibližně o 55 kg. Baterie nám sice umožňuje jízdu na čistě elektrický pohon, ale hlavní výhodou pro zlepšení dojezdu je možnost rekuperace energie. Díky hybridnímu pohonu můžeme teoreticky uvažovat snížení spotřeby o 20% (při městské jízdě i více), což je hodnota, které přibližně dosahuje většina současných hybridních automobilů, a tím také zvýšení hodnoty dojezdu. Praktická hodnota úspory paliva by se samozřejmě odvíjela od jízdního profilu a stylu jízdy a bylo by nutné ji změřit experimentálně.

Dojezd pro režim spalovacího motoru:
 $S_{SM} = 379,5 \text{ km}$

Dojezd s rekuperací energie:
 $S_H = S_{SM} \cdot 1,2 = 379,5 \cdot 1,2 = 455 \text{ km}$

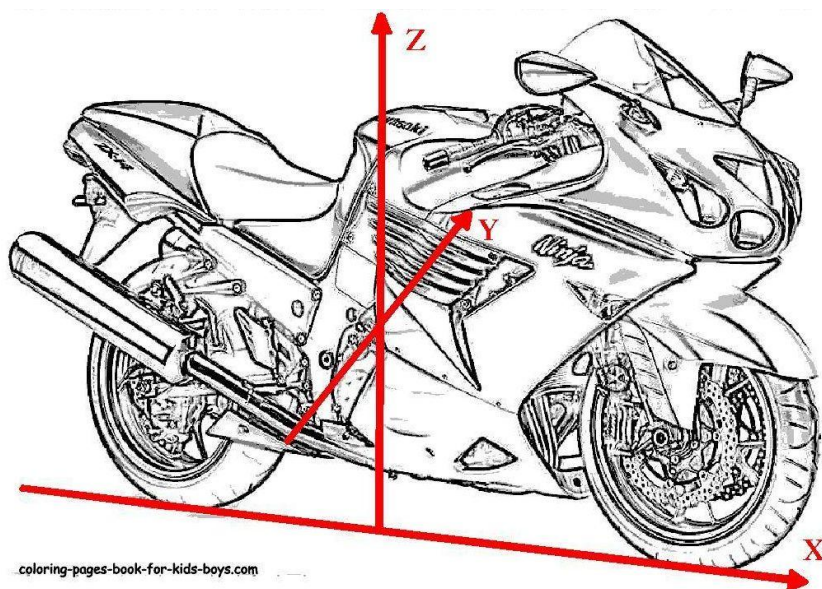
Teoretická hodnota dojezdu motocyklu je tedy zhruba o 75 km vyšší než při použití pouze spalovacího motoru.

6.8 Vliv přidaných hmot komponentů na jízdní vlastnosti

Jednotlivé komponenty jsem seřadil do tabulky, uvedl jejich hmotnost a rozměry. Následně byl vytvořen zjednodušený model hnací soustavy. Na základě tohoto modelu bylo možné určit vzájemnou polohu jednotlivých dílů a následně i vliv jejich těžišť na jízdní vlastnosti motocyklu.

Ideální těžiště vozidla je určeno požadovanými vlastnostmi ve všech třech osách:

- 1) V ideálním případě je třeba, aby se motocykl choval jako neutrální, popřípadě mírně nedotáčivý. Na tento fakt má hlavní vliv horizontální poloha těžiště. Nedotáčivosti dosáhneme přesunutím těžiště vozidla blíže k zadní nápravě. Podíl zatížení přední a zadní nápravy volíme přibližně 0,8. Horizontální poloha těžiště má vliv na otáčení vozidla kolem jeho svislé osy.
- 2) Na podélnou a příčnou stabilitu motocyklu má vliv vertikální poloha těžiště. Těžiště motocyklu by mělo být co možná nejnižší. Vertikální poloha těžiště má účinek na otáčení motocyklu kolem jeho podélné a příčné osy.
- 3) Dalším neméně důležitým faktem je nutnost udržet výsledné těžiště motocyklu v podélné rovině kol, aby nemělo vozidlo tendenci přepadávat na některou ze stran. Pokud by tomu tak nebylo, vozidlo by mělo větší sklon k otáčení kolem podélné osy.

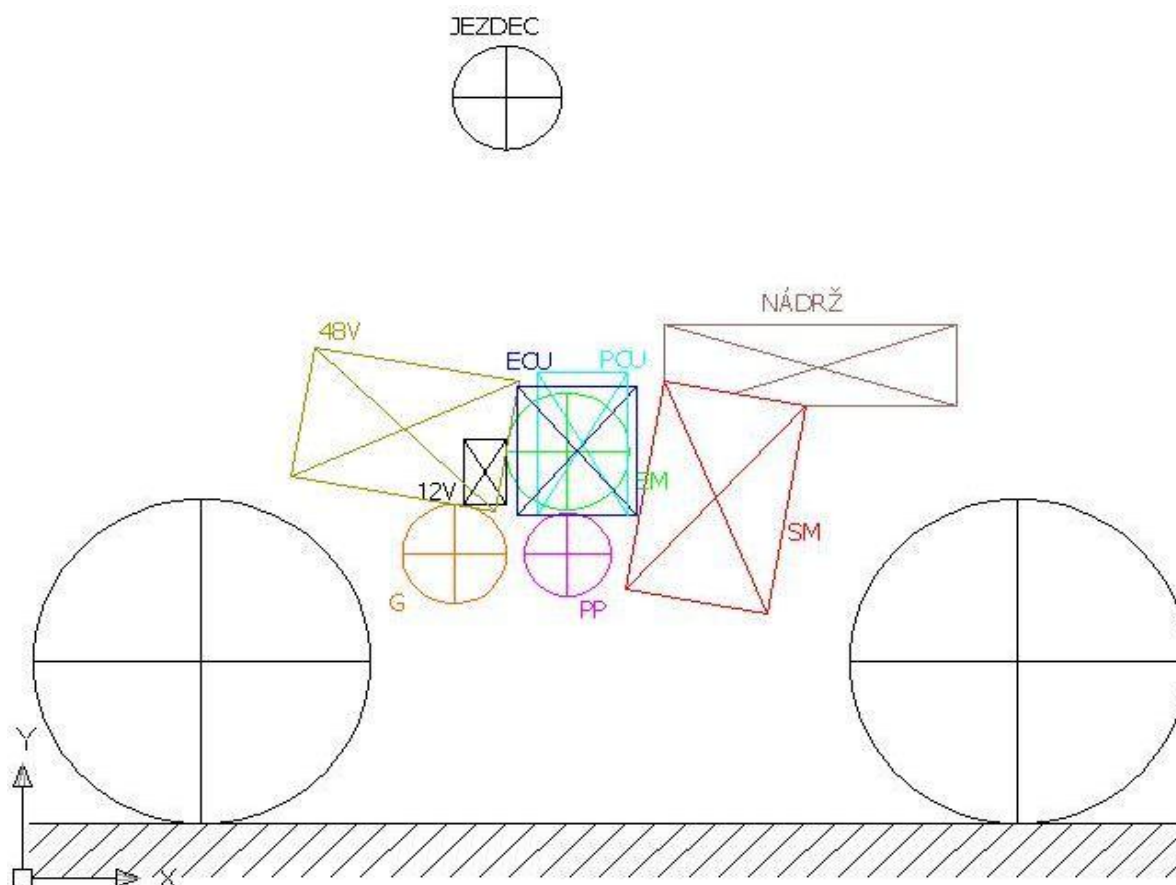


Obr. 39 Poloha těžiště motocyklu má přímý vliv na jeho otáčení kolem os

X – podélná osa, směr jízdy
Y – příčná osa
Z – svislá osa

V praxi není třeba určovat přímo polohu těžiště. Stačí znát momenty jednotlivých hmot, které působí na osy kol. Zjistil jsem tedy polohu jednotlivých těžišť komponentů a vynásobil je vzdáleností od příslušných os kol. Následovalo sečtení všech momentů působících na stejnou osu kola a porovnání této hodnoty se součtem momentů pro druhou osu. Jejich poměr by se měl přibližně rovnat žádané hodnotě 0,8.

Ve výpočtech nesmí chybět ani vliv hmotnosti plné nádrže paliva a řidiče motocyklu, u kterého předpokládáme vzpřímenou polohu. Během jízdy pak řidič může při předklonu dosáhnout posunutí těžiště motocyklu blíž k přední ose kola a tím přispět k větší neutrálnosti vozidla.

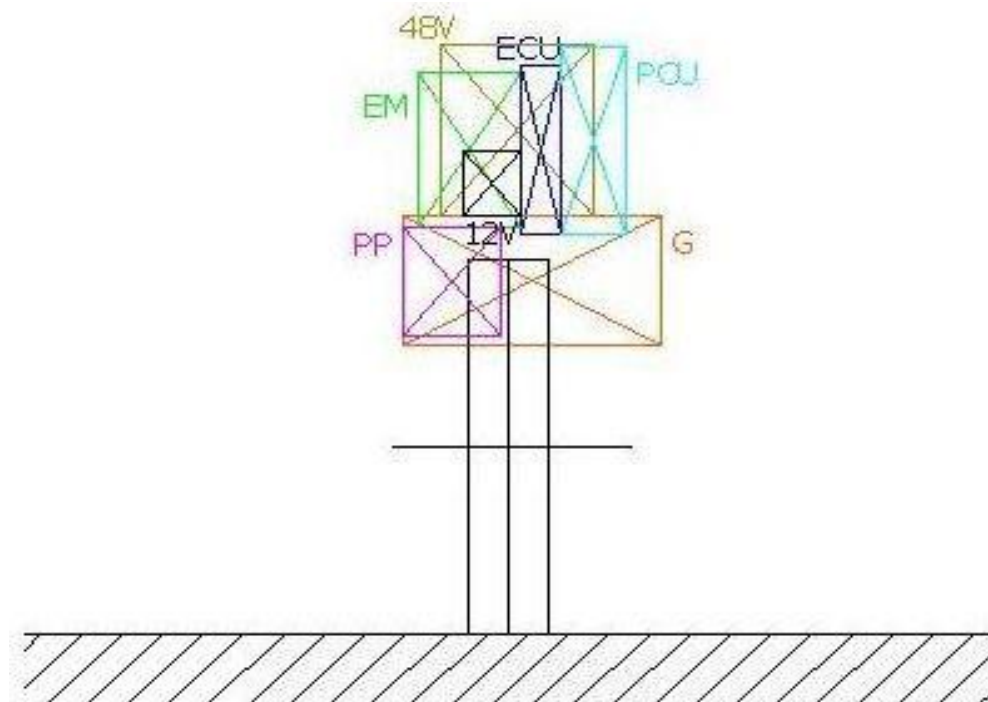


Obr. 40 Výpočtové schéma pro určení vlivu rozmístění komponentů na jízdní vlastnosti, pohled z boku

Parametry / Komponent	Hmotnost [kg]	Vzdálenost od přední osy [m]	Moment k přední ose [Nm]	Vzdálenost od zadní osy [m]	Moment k zadní ose [Nm]	Vzdálenost od povrchu [m]	Vertikální moment [Nm]
Spalovací motor	23,5	0,508	111,11	0,862	198,72	0,571	131,64
Elektromotor	11	0,756	81,58	0,614	66,26	0,651	70,25
Generátor	15	0,946	139,20	0,424	62,39	0,471	69,31
PCU	1,9	0,731	13,63	0,639	11,91	0,633	12,60
ECU	2	0,741	14,54	0,629	12,34	0,642	13,00
12 V baterie	3	0,892	26,25	0,478	14,07	0,594	17,48
48 V baterie	24	1,030	242,50	0,34	80,05	0,691	162,67
Planetová převodovka	5,6	0,756	41,53	0,614	33,73	0,496	27,25
Nádrž	20	0,334	65,53	1,036	203,26	0,799	156,76
Jezdec	80	0,838	657,56	0,532	417,51	1,271	997,48
Součet momentů			1399,54		1100,24		1657,25
Výsledek			Poměr momentů	0,786 [-]		Výška těžiště	0,634 m

Tab. 7 Vliv hmot komponentů na jízdní vlastnosti, podélný směr

Díky vhodnému uspořádání bylo docíleno takřka ideálního poměru zatížení (0,786 oproti 0,8). Výška těžiště samotného motocyklu činí 0,634.



Obr. 41 Výpočtové schéma pro určení vlivu rozložení komponentů na vyvážení v příčném směru

Parametry / Komponent	Hmotnost [kg]	Vzdálenost [m]	Moment ke svislé ose [Nm]
Elektromotor	11	- 0,047	- 5,07
Generátor	15	0,030	4,42
PCU	1,9	0,106	1,98
ECU	2	0,041	0,80
48 V baterie	24	0,010	2,35
12 V baterie	3	- 0,020	- 0,59
Planetová převodovka	5,6	- 0,069	- 3,79
Součet momentů	- 0,1		
Odchylka těžiště od ideální polohy	0,1 [mm]		

Tab. 8 Vliv těžiště motocyklu na příčnou stabilitu

Při navrženém rozložení komponentů pohonu bylo dosaženo přesunutí těžiště motocyklu do roviny kol. Odchylka momentů činí pouze 0,1 Nm, což po přepočtu znamená odchylku těžiště 0,1 mm od ideální polohy.

Na výslednou polohu těžiště bude mít vliv i rozložení dalších prvků a jejich zapojení, které se používají i v klasických motocyklech vybavených pouze spalovacím motorem.

7. Závěr

7.1 Porovnání konvenčního a navrženého modelu

Pro porovnání výhod a nevýhod navrženého hybridního motocyklu jsem zvolil motocykl firmy Jawa 125 Travel, ze kterého můj návrh z větší části vychází. Zaměření obou motocyklů je podobné a největší rozdíly budou v pořizovací ceně a výkonových parametrech.

Vlastnost/ model	Jawa 125 Travel	Hybrid motocykl
Maximální výkon [kW]	9,4	14
Maximální krouticí moment [Nm]	9,2	15
Maximální rychlost [km/h]	95	132
Teoretický dojezd [km]	397	455
Suchá hmotnost [kg]	115	170

Tab. 9 Porovnání parametrů navrženého modelu s motocyklem Jawa 125 Travel

Díky uvedené tabulce jsou zřetelně vidět změny výkonových parametrů, stejně tak jako hmotnostní rozdíl motocyklů. Vyšší výkon umožňuje vysokou jízdní rychlost, hodnota krouticího momentu pak umožňuje lepší akceleraci. Přidáním sekundárního pohonu došlo také v souvislosti s rekuperací k navýšení hodnoty teoretického dojezdu. Všechny tyto parametry jsou ale vykoupeny značným zvýšením hmotnosti motocyklu.

7.2 Hmotnostní bilance navrženého modelu

Komponent	Přidáno [kg]	Odebráno [kg]
Generátor	+ 15	
Elektromotor	+ 11	
Baterie	+ 24	
Výkonová jednotka	+ 1,9	
Planetová převodovka	+ 5,6	
Konvenční převodovka		- 8
Součet	+57,5	- 8

Tab. 10 Hmotnostní bilance navrženého motocyklu

Zvýšení minimální hmotnosti motocyklu:

$$\Delta m = 57,5 - 8 = 49,5 \text{ kg}$$

Při uvažování různých součástí a dílů určených k propojení jednotlivých komponentů můžeme uvažovat navýšení hmotnosti o celkových 55 kg.

Celkové uvažované zvýšení hmotnosti motocyklu:

$$\Delta m_{CELK} = 55 \text{ kg}$$

7.3 Ekonomická náročnost

Snížená spotřeba paliva je určitě výhodná nejen z hlediska emisí z výfukových plynů, ale i z finančního hlediska provozu vozidla. Přidáním komponentů hybridního pohonu ale také zvyšujeme výslednou pořizovací cenu a tento rozdíl není rozhodně zanedbatelný. Nakonec záleží na prioritách a požadavcích zákazníka, zda se rozhodne právě pro finančně nákladnější pokrokovou hybridní technologii pohonu.

Komponent pohonu	Cena dílu [Kč]
Elektromotor	9 980
Generátor	11 928
Výkonová jednotka	13 740
Řídicí jednotka včetně programu	399 840
48 V baterie	17 625
Planetová převodovka	34 938
Celková cena	488 601

Tab. 11 Celková cena přidanych komponentů pro prototyp hybridního motocyklu

Ceny jednotlivých dílů jsou zjištěny v případě kusové výroby. Sériová výroba by určitě přinesla značné snížení celkové ceny pohonu. 48 V baterie představuje menší položku než v případě hybridních automobilů, neboť v případě motocyklu je rozměrově omezena.

Podle podílu cen komponentů vidíme, že cena pohonu závisí hlavně na řídicí jednotce. Ta je v případě MicroAutoBoxu velmi univerzální, a tedy i finančně nákladná. Pro sériovou

výrobu by musela být zhotovena speciální jednotka, která by vycházela z poznatků ohledně provozu s univerzální jednotkou v prototypu. Cena takové jednotky by se měla pohybovat kolem 30 000 Kč a celková cena pohonu by se tak mohla v případě sériové výroby dostat pod 100 000 Kč.

Podle kapitoly 6.7 je možné spočítat rozdíl průměrné spotřeby paliva v případě klasického a hybridního pohonu.

Spotřeba klasického pohonu:	4,45 l/100 km
Spotřeba hybridního pohonu:	3,74 l/100 km
Úspora paliva: $4,45 - 3,74 =$	0,71 l/100 km
Finanční úspora na 100 km při ceně 35 Kč/l:	24,85 Kč
Finanční úspora na 200 000 km:	49 700 Kč

Finanční úspora by se mohla v případě preference městského využití vozidla vlivem častější rekuperace zvýšit až na 70 000 Kč. Vzhledem k ceně pohonu je patrné, že tato úspora paliva by mohla za celou dobu provozu motocyklu vynahradit jeho vyšší pořizovací cenu. Této úvaze nahrává i fakt neustále se zvyšující ceny ropy.

7.4 Doslov

Hybridní pohony vozidel představují jeden z prvních kroků k vyšší úspoře fosilních paliv. Nejlepších parametrů dosahují paradoxně tam, kde mají klasické spalovací motory své slabiny – v městském provozu. Začínají být aplikovány i ve vozidlech hromadné dopravy jako jsou autobusy a vlaky, kde představují ohromné úspory paliva. Například při testování autobusu s kombinovaným uspořádáním a mechanickým setrvačником bylo dosaženo v městském jízdním cyklu snížení spotřeby o 56%.

Díky nižší spotřebě paliva při současně vyšších výkonových parametrech začínají být hybridní vozidla atraktivní i pro širší okruh lidí. Další motivací pro jejich konstrukci jsou neustále přísnější emisní normy vozidel, kterým se musí výrobci automobilů přizpůsobit.

Cílem ideálního hybridního pohonu jsou co nejvyšší parametry baterie a elektrického stroje při zachování kompaktních rozměrů. Takový pohon pak bude disponovat dobrými výkonovými parametry, velkým dojezdem a malou spotřebou paliva.

Seznam použité literatury

- [1] Vlk František: Alternativní pohony motorových vozidel
- [2] Kameš Josev: Alternativní pohony automobilů
- [3] Beroun S., Scholz C.: Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů, 1999
- [4] Vlk František: Koncepce motorových vozidel
- [5] Vlk František: Teorie a konstrukce motocyklů 1, 2
- [6] Vlk František: Převodová ústrojí motorových vozidel
- [7] Vlk František: Česko – anglický odborný slovník
- [8] Vlk František: Vozidlové spalovací motory
- [9] Vlk František: Elektrická zařízení motorových vozidel
- [10] Bureš M.: Návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol
- [11] Prášil L., Olehlová M.: Části strojů a mechanismů
- [12] Roubíček Ota: Elektrické motory a pohony
- [13] Pavelka Vladek: Rekuperační systém se superkondenzátorem pro hybridní pohon, disertační práce, ČVUT 2006
- [14] Fuhs Allen E.: Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation, 2009
- [15] Society of Automotive Engineers: Strategies in Electric and Hybrid Vehicle Design, 1996
- [16] Husain Iqbal: Elektric and Hybrid Vehicles
- [17] Miller John M.: Propulsion Systems for Hybrid Vehicles
- [18] Jurgen K. Ronald: Electric and Hybrid-Electric Vehicles
- [19] Heisler Heinz: Advanced Vehicle Technology
- [20] Čundev Dobri: Control strategy of car hybrid system and its experimental confirmation, disertační práce, ČVUT 2009
- [21] Orendáš Pavel: Hybridní pohon osobního automobilu, diplomová práce, 2003
- [22] Lenděl Štěpán: Alternativní pohony automobilů, diplomová práce, 2000
- [23] Radek Hojný: Elektromobily a hybridní automobily, bakalářská práce 2009

Internetové odkazy:

www.auto.cz

www.hybridsynergydrive.com

www.hybrid.cz

www.howstuffworks.com

www.greencarcongress.com

www.traktory.agrostis.cz

www.e-pohon.cz

www.1siemens.cz

www.ev-power.com

www.lionbms.com

www.auto88.cz

www.elektroautomobily.org

www.electronicweekly.com

www.ceanet.com

www.jawa.eu

www.freebiker.blog.cz

www.regulacni-pohony.cz/

<http://coloringpage.s-pl.us>